

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Návrh a posudek ocelové konstrukce přístavby výrobní haly

Design and assessment of production hall extension with steel load-bearing structure

Student:

Bc. Kristýna Duží

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Vít Křivý, Ph.D

Ostrava 2019

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Kristýna Duží**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb

Téma: **Návrh a posudek ocelové konstrukce přístavby výrobní haly**
Design and assessment of production hall extension with steel load-bearing structure

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce:

1. Navrhněte a posuďte nosnou ocelovou konstrukci přístavby výrobní haly ve Fryčovicích. Prostor přístavby budou obsluhovat dva mostové jeřáby ITECO s nosností 10t a 20t.
2. Při návrhu ocelové konstrukce vycházejte ze základních požadavků investora na geometrické uspořádání konstrukce.
3. Potřebné podklady, včetně zatěžovacích podkladů k mostovým jeřábům, budou poskytnuty společností Institut ocelových konstrukcí, spol. s r. o.
4. Ocelovou konstrukci navrhněte a posuďte v souladu s platnými evropskými normami.
5. K navrženému konstrukčnímu řešení vypracujte potřebnou projektovou dokumentaci (přehledné výkresy ocelové konstrukce, technickou zprávu a výkaz materiálu).

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN EN 1990 ed.2 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. UNMZ, 2011 (včetně změn a oprav).
- [2] ČSN EN 1991-1-X Zatížení konstrukcí (příslušné části). Praha, ÚNMZ.
- [3] ČSN EN 1991-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 3: Zatížení od jeřábů a strojního vybavení, Praha, ČNI, 2008.
- [4] ČSN EN 1993-1-1 ed. 2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha, ÚNMZ, 2011.
- [5] ČSN EN 1993-1-5 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-5: Boulení stěn, Praha, ČNI, 2008.
- [6] ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků. Praha: ČNI, 2007.
- [7] ČSN EN 1993-6 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 6: Jeřábové dráhy, Praha, ČNI, 2008.
- [8] Podklady poskytnuté společností Institut ocelových konstrukcí, spol. s r. o. (požadavky na geometrické uspořádání konstrukce, zatěžovací podklady k mostovým jeřábům).
- [9] Marek, P. a kol. Kovové konstrukce pozemních staveb, Praha, SNTL, 1985.
- [10] Pilgr, M. Kovové konstrukce – Výpočet jeřábové dráhy pro mostové jeřáby podle ČSN EN 1991-3 a ČSN EN 1993-6, Brno, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2012.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Vít Křivý, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2019

Datum odevzdání: 29.11.2019



doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 29. listopadu 2019

.....

Bc. Kristýna Duží

Prohlašuji, že

- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠBT-UO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 29. listopadu 2019

.....

Bc. Kristýna Duží

Anotace

DUŽÍ, K. *Návrh a posudek ocelové konstrukce přístavby výrobní haly: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2019

Diplomová práce se zabývá návrhem ocelové konstrukce výrobní haly s jeřábovými drahami. Úvod je věnován popisu zvoleného materiálu a tříd provedení hal. Dále jsou popsány konstrukční systémy halových objektů. Řešení nosné konstrukce haly zahrnuje numerický model konstrukce, statický výpočet rozhodujících nosných prvků, posouzení všech prvků v softwaru, výkresovou dokumentaci.

Klíčová slova

Ocelová nosná konstrukce, hala, jeřábová dráha, návrh, statický posudek

Annotation

DUŽÍ, K. *Design and assessment of production hall extension with steel load-bearing structure: Diploma Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, 2019

The diploma thesis deals with the design of the steel structure of the production hall with crane tracks. The introduction is devoted to the description of selected materials and classes of hall design. Furthermore, the construction systems of hall buildings are described.

The structural design of the hall includes a numerical model of the structure, static calculation of the decisive supporting elements, assessment of all elements in the software, drawing documentation.

Keywords

Steel structure, hall, crane track, design, static check

Obsah

1. Úvod	16
2. Nosná konstrukce	16
2.1. Konstrukční systém	16
2.1.1. Původní hala	16
2.1.2. Přístavba	17
2.2. Geometrie konstrukce	18
2.2.1. Původní hala	18
2.2.2. Přístavba	18
3. Technické podklady - jeřáby	22
3.1. Původní hala.....	22
3.1.1. Jeřáb o nosnosti 20 t.....	22
3.1.2. Jeřáb nosnosti 10 t.....	24
3.1.3. Jeřáb nosnosti 8 t.....	24
3.2. Přístavba.....	25
3.2.1. Jeřáb o nosnosti 20 t.....	25
3.2.2. Jeřáb o nosnosti 10 t.....	26
3.2.3. Jeřáb o nosnosti 5 t.....	28
4. Zatížení.....	28
4.1. Stálé zatížení	28
4.1.1. Vlastní tíha konstrukce.....	28
4.1.2. Střešní a obvodový plášť	28
4.2. Proměnné zatížení - Užitné zatížení	28
4.2.1. Jeřáb	28
4.3. Proměnné zatížení - Klimatické zatížení	41
4.3.1. Sníh	41
4.3.2. Vítr	46

4.4.	Dynamické zatížení	52
4.4.1.	Dynamické účinky jeřábu.....	52
4.4.2.	Zemětřesení	52
4.5.	Kombinace zatížení	53
5.	Statický posudek vybraných prutů	53
5.1.	Sloup HEA 600	53
5.1.1.	Posouzení vzpěrné únosnosti.....	54
5.1.2.	Posouzení při klopení - příčné a torzní.....	55
5.1.3.	Posouzení při kombinaci ohybu, osově a smykové síly	57
5.2.	Střešní vazníky IPE600.....	57
5.2.1.	Posouzení vzpěrné únosnosti.....	58
5.2.2.	Posouzení při klopení - příčné a torzní.....	59
5.3.	Zavětrování	61
5.3.1.	Posouzení vzpěrné únosnosti.....	62
5.4.	Jeřábová dráha.....	63
5.4.1.	Nosník HEB 450	63
5.4.2.	Jeřáby	64
5.4.3.	Hlavní nosník.....	66
6.	Požární odolnost konstrukce	78
7.	Posouzení přípojí	79
7.1.	Kotvení sloupů	79
7.2.	Rámový roh.....	79
7.2.1.	Obecný postup	79
7.2.1.1.	Pásnice sloupu v ohybu, čelní deska v ohybu.....	79
7.2.1.2.	Stěna sloupu v příčném tahu.....	80
7.2.1.3.	Stojina příčně v tahu	80
7.2.2.	Výpočet únosnosti.....	81
7.3.	Rámové spojení ve vrcholu rámu.....	95

7.3.1.	Únosnost řad šroubů.....	95
7.3.2.	Únosnost v tlačené oblasti	95
7.3.3.	Panel stěny příčle ve smyku	95
7.3.4.	Návrhová momentová únosnost styčnicku.....	95
7.3.5.	Návrhová smyková únosnost styčnicku	96
7.4.	Připojení ztužidla.....	97
7.4.1.	Únosnost svaru na sloup HEA600	97
7.4.2.	Únosnost svaru na trubku	98
7.5.	Kloubová patka.....	100
8	Závěr	102
9	Seznam použitých pramenů	103
9.1	Literatura.....	103
9.2	Internetové zdroje.....	103
9.3	Normy	103
10	Seznam obrázků a tabulek	104
10.1	Seznam obrázků.....	104
10.2	Seznam tabulek.....	106
11	Použitý programový software	109

Seznam použitých značek a symbolů

A	plocha průřezu	$[\text{mm}^2]$
A_{max}	extrémní posouvající síla	$[\text{kN}]$
A_p	plocha části průřezu	$[\text{mm}^2]$
A_{st}	plocha výztuhy	$[\text{mm}^2]$
A_{vc}	smyková plocha	$[\text{mm}^2]$
A_{vz}	smyková plocha	$[\text{mm}^2]$
A_w	plocha svaru	$[\text{mm}^2]$
C_{pi}	součinitel větru	$[-]$
E	modul pružnosti	$[\text{MPa}]$
$F_{\text{b,Rd}}$	návrhová únosnost šroubu v otláčení	$[\text{kN}]$
$F_{\text{c,fb,Rd}}$	návrhová únosnost pásnice a stojiny příčle v tlaku	$[\text{kN}]$
F_{cr}	kritická síla pro boulení stojiny	$[\text{kN}]$
$F_{\text{c,Rd}}$	návrhová únosnost tlačené oblasti	$[\text{kN}]$
$F_{\text{c,wc,Rd}}$	návrhová únosnost sloupu v příčném tlaku	$[\text{kN}]$
$F_{\text{t,Rd}}$	návrhová únosnost jednoho šroubu v tahu	$[\text{kN}]$
$F_{\text{tr,Rd}}$	návrhová únosnost řady šroubů v tahu	$[\text{kN}]$
$F_{\text{t,fc,Rd}}$	návrhová únosnost stěny sloupu v ohybu	$[\text{kN}]$
$F_{\text{t,wb,Rd}}$	návrhová únosnost příčle v tahu	$[\text{kN}]$
$F_{\text{t,wc,Rd}}$	návrhová únosnost stěny sloupu v tahu	$[\text{kN}]$
$F_{\text{v,Rd}}$	návrhová únosnost šroubu ve střihu	$[\text{kN}]$
G	modul pružnosti ve smyku	$[\text{GPa}]$
H_{B1}	síla od nárazu do nárazníku	$[\text{kNm}]$
$H_{\text{L,d}}$	návrhová síla od jeřábu v podélném směru	$[\text{kN}]$
$H_{\text{L,k}}$	charakteristická síla od jeřábu v podélném směru	$[\text{kN}]$

H_s	vodorovná síla ze šikmého chodu jeřábu	[kN]
$H_{s,d}$	návrhová síla od jeřábu vodorovná	[kN]
$H_{s,k}$	charakteristická síla od jeřábu vodorovná	[kN]
$H_{T,d}$	návrhová síla od jeřábu v příčném směru	[kN]
$H_{T,k}$	charakteristická síla od jeřábu v příčném směru	[kN]
I_r	moment setrvačnosti kolejnice	[mm ⁴]
I_{st}	moment setrvačnosti výztuhy	[mm ⁴]
I_t	moment setrvačnosti v prostém kroucení	[mm ⁴]
I_w	výsečová moment setrvačnosti	[mm ⁶]
I_y	moment setrvačnosti k ose y	[mm ⁴]
I_z	moment setrvačnosti k ose z	[mm ⁴]
$I_{y,p}$	moment setrvačnosti části průřezu k ose y	[mm ⁴]
$I_{z,p}$	moment setrvačnosti části průřezu k ose z	[mm ⁴]
K	hnací síla	[kN]
$L_{b,min}$	minimální délka příčle	[mm]
L_{cr}	kritická vzpěrná délka	[mm]
L_{eff}	účinná délka náhradního T-profilu	[mm]
L_y	vzpěrná délka v ose y	[mm]
L_z	vzpěrná délka v ose z	[mm]
$M_{b,Rd}$	návrhový moment při klopení	[kNm]
M_{cr}	kritický ohybový moment	[kNm]
$M_{c,Rd}$	návrhová momentová únosnost	[kNm]
M_{Ed}	ohybový moment	[kNm]
$M_{j,Rd}$	návrhová momentová únosnost styčnicku	[kNm]
M_{Rd}	návrhová momentová únosnost	[kNm]

M_{\max}	extrémní ohybový moment	[kNm]
$N_{b,Rd}$	návrhová vzpěrná únosnost	[kN]
$N_{cr,y}$	kritická síla ve směru y	[kN]
$N_{cr,z}$	kritická síla ve směru z	[kN]
N_{Ed}	normálová síla	[kN]
N_{Rd}	návrhová normálová únosnost	[kN]
$Q_{H,\max}$	tíha kočky + břemene	[kN]
$Q_{H,\min}$	tíha kočky	[kN]
$Q_{r,d}$	návrhová svislá síla zatížení od jeřábu	[kN]
$Q_{r,k}$	charakteristická svislá síla zatížení od jeřábu	[kN]
$Q_{r,\max}$	max. zatížení vyvolané zatíženým jeřábem na jednu větev jeřábové dráhy	[kN]
$Q_{r,(\max)}$	max. doprovodné zatížení vyvolané zatíženým j. na 1 větev jeřábové dráhy	[kN]
$Q_{r,\min}$	min. zatížení vyv. nezatíženým jeřábem na jednu větev jeřábové dráhy	[kN]
$Q_{r,(\min)}$	min. doprovodné zatížení vyv. nezatíženým j. na 1 větev jeřábové dráhy	[kN]
R	výslednice soustavy svislých břemen	[kN]
R_a	reakce nosníku v místě a	[kN]
R_b	reakce nosníku v místě b	[kN]
S	síla na vedení od přičení mostového jeřábu	[kN]
$S_{j,ini}$	počáteční tuhost styčnicku	[Nmm/rad]
S_k	zatížení sněhem	[kN/mm ²]
V_{Ed}	posouvající síla	[kN]
$V_{pl,Rd}$	návrhová plastická smyková síla	[kN]
$W_{z,p}$	průřezový modul části průřezu	[mm ³]
$W_{y,eff}$	efektivní průřezový modul v ose y	[mm ³]
$W_{z,eff}$	efektivní průřezový modul v ose z	[mm ³]

$W_{y,pl}$	plastický průřezový modul v ose y	[mm ³]
$W_{z,pl}$	plastický průřezový modul v ose z	[mm ³]
a	rozvor kol jeřábu	[m]
b_{eff}	účinná výška stěny	[mm]
b_s	šířka výztuhy	[mm]
c	přesah	[mm]
f	součinitel reakcí při přičení	[-]
f_u	mez pevnosti oceli	[MPa]
f_{ub}	mez pevnosti šroubu	[MPa]
f_y	mez kluzu oceli	[MPa]
g_1	vlastní tíha hlavního nosníku	[kN/m]
g_2	vlastní tíha vodorovného nosníku	[kN/m]
g_3	vlastní tíha kolejnice	[kN/m]
g_d	návrhové stálé zatížení	[kN/m]
g_k	charakteristické stálé zatížení	[kN/m]
h	vzdálenost řady šroubů od středu otáčení spoje	[mm]
h_w	výška stojiny	[mm]
i_{st}	poloměr setrvačnosti výztuhy	[mm]
k_1	součinitel	[-]
k_2	tuhost stěny sloupu v tlaku	[mm]
k_3	tuhost nevyztužené stěny sloupu v tahu	[mm]
k_4	tuhost pásnice sloupu v ohybu	[mm]
k_5	tuhost čelní desky v ohybu	[mm]
k_{10}	tuhost šroubů v tahu	[mm]

k_{eff}	účinný součinitel tuhosti řady šroubů	[mm]
k_{eq}	náhradní součinitel tuhosti	[mm]
k_F	součinitel lokálního boulení	[-]
k_{wc}	redukční součinitel	[-]
l_s	délka výztuhy	[mm]
l_{eff}	účinná roznášecí délka	[mm]
l_y	účinná zatížená délka	[mm]
n_r	počet nosníků jeřábové dráhy	[ks]
q_d	návrhové proměnné zatížení	[kN/m]
q_k	charakteristické proměnné zatížení	[kN/m]
s_s	roznášecí délka na horním povrchu horní pásnice	[mm]
t_f	tloušťka pásu	[mm]
t_s	tloušťka výztuhy	[mm]
t_w	tloušťka stojiny	[mm]
Z_{eq}	náhradní rameno vnitřních sil	[mm]
α	úhel přičení, součinitel iperfekce	[rad,-]
β	převodní součinitel	[-]
γ	součinitel spolehlivost	[-]
η	pořadnice ohybové čáry	[-]
λ	štíhlost	[-]
$\bar{\lambda}$	poměrná štíhlost	[-]
μ_{cr}	bezrozměrný kritický moment	[-]
ρ	součinitel redukce vlivem smykové síly	[-]
σ	normálové napětí	[MPa]

τ	smykové napětí	[MPa]
φ_1	dynamický součinitel pro rázové zatížení při zvednutí zatížení	[-]
φ_2	dynamický součinitel pro zatížení kladkostroje	[-]
φ_3	dynamický součinitel pro zatížení kladkostroje	[-]
φ_4	dynamický součinitel pro pojezd na dráze	[-]
φ_5	dynamický součinitel pro účinky vyvolané hnacími silami	[-]
φ_6	dynamický součinitel pro zkušební zařízení	[-]
φ_7	dynamický součinitel pro pružný účinek nárazu na nárazníky	[-]
χ	součinitel vzpěrnosti	[-]
χ_F	součinitel lokálního boulení	[-]
ω	redukční součinitel interakce se smykem	[-]
ζ	poloha průřezu	[-]

1. Úvod

Předmětem posouzení je původní ocelová hala ve Fryčovicích, která bude nově prodloužena, a přístavba nové haly. V obou halách pojíždí mostové jeřáby o různých nosnostech viz. popis níže.

Jedná se o prutové konstrukce. Pro výpočet vnitřních sil bude v dalších kapitolách určeno zatížení, které na konstrukce působí. Zatížení bude vhodně kombinováno, aby se docílilo největších účinků na konstrukci. Výpočet vnitřních sil bude proveden podle teorie II. řádu.

Materiály

Obě ocelové haly budou vyrobeny z oceli S235JR.

Navržené šrouby jsou pevnostní třídy 8.8.

Třída provedení

Stanoveno podle ČSN EN 1993-1-1/A1

Třída následků: CC2: střední následky

Typ zatížení: statické, pro jeřábové dráhy dynamické

Třída provedení: konstrukce haly: ECX 2

jeřábové dráhy: EXC 3

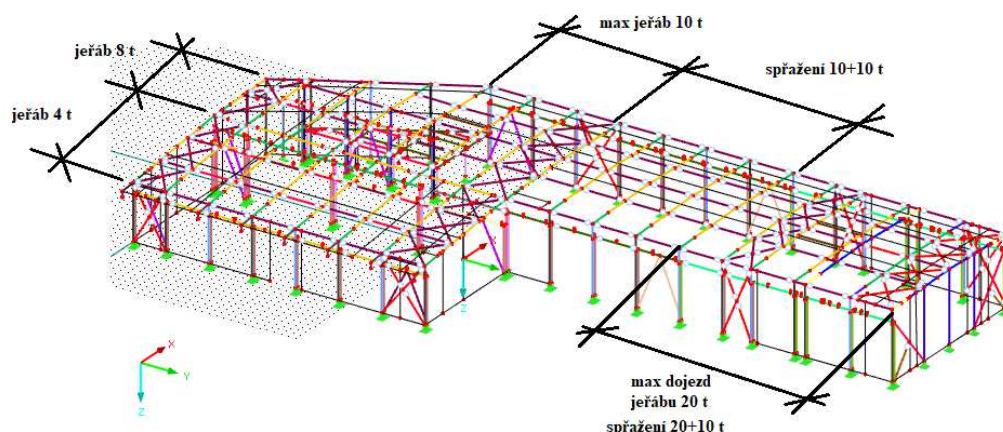
Návrh všech uvedených nosných prvků vyhoví mezním stavům únosnosti a použitelnosti.

2. Nosná konstrukce

2.1. Konstrukční systém

2.1.1. Původní hala

Původní ocelová hala je dvoulodní objekt s rámovou konstrukcí. Delší loď haly má délku 94,1 m a šířku 24,06 m. V hlavní lodi se celkově pohybuje 5 jeřábů. Na konci haly v nově prodloužené části se pohybuje jeřáb o nosnosti 20 t, který je omezen v pohybu do dalších polí haly viz obr č... Jeřáb o nosnosti 20 t může být spřažen s jeřábem o nosnosti 10 t na maximální nosnost 30 t. Ve střední části hlavní lodi se zároveň pohybují dva mostové jeřáby každý o nosnosti 10 t, které mohou být spřaženy na maximální nosnost 20 t. Na začátku hlavní lodi je umístěn mostový jeřáb o nosnosti 8 t. Kratší loď má délku 40,5 m a šířku 17,16 m. V kratší lodi je umístěn jeden mostový jeřáb o nosnosti 8 t, který je nově omezen na poloviční nosnost, tj. 4 t.



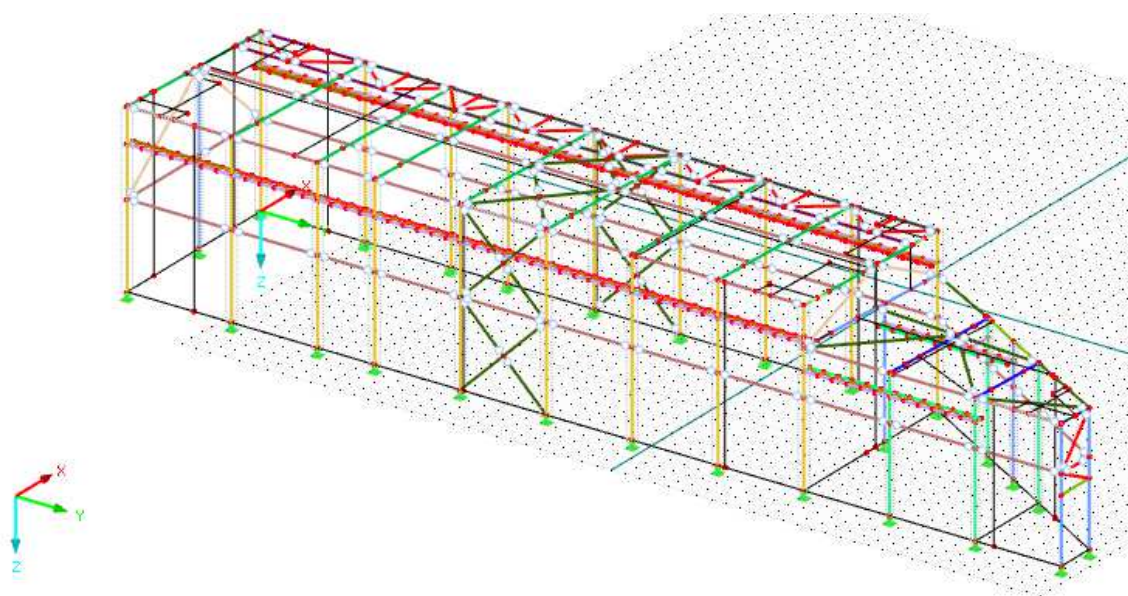
Obr. 2.1 – Jeřáby v původní hale

Příčné vazby jsou tvořeny dvěma sloupy HEA kloubově uloženými do betonových patek. Na jejich zhlaví je rámově uložen střešní vazník IPE s náběhy na obou koncích. Ve čtyřech polích haly je umístěno ztužidlo ve stěnové i střešní rovině. Jedná se o dvě koncová pole hlavní lodi, koncové pole menší lodi a jedno střední pole hlavní lodi.

2.1.2. Přístavba

Nově budovaná přístavba je jednolodní hala o délce 65,3 m a šířce 13,39 m. Na hlavní loď délky 47,3 m o výšce 11,728 m navazuje zužující se část lodi do zúžení 2,8 m s nižší výškou 9,036 m. V hlavní lodi se pohybují dva mostové jeřáby o nosnosti 20 t a 10 t, které mohou být vzájemně spřaženy na maximální nosnost 30 t. Ve zúžené části lodi je umístěn jeden mostový jeřáb o nosnosti 5 t.

Příčné vazby jsou tvořeny dvojicí sloupů HEA (ve zúžené části haly HEB) kloubově uloženými do betonových patek. Na jejich zhlaví je rámově uložen IPE vazník s náběhy na obou koncích (ve zúžené části haly HEA s náběhy na obou koncích). Uprostřed délky hlavní lodi je umístěno stěnové a střešní ztužidlo.



Obr. 2.2 – Konstrukce přístavby

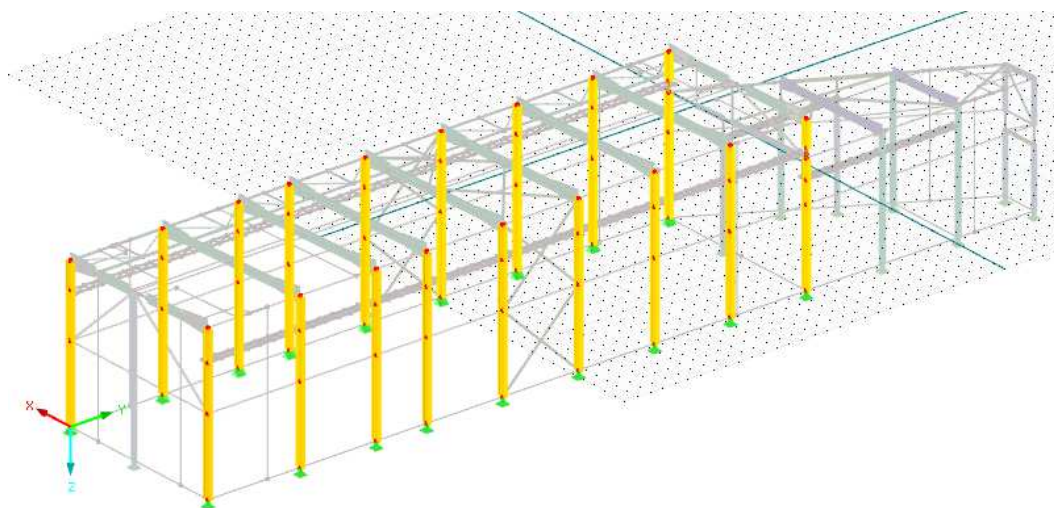
2.2. Geometrie konstrukce

2.2.1. Původní hala

Geometrie původní haly je k dispozici v příloze č. 1 Statické posouzení původní haly.

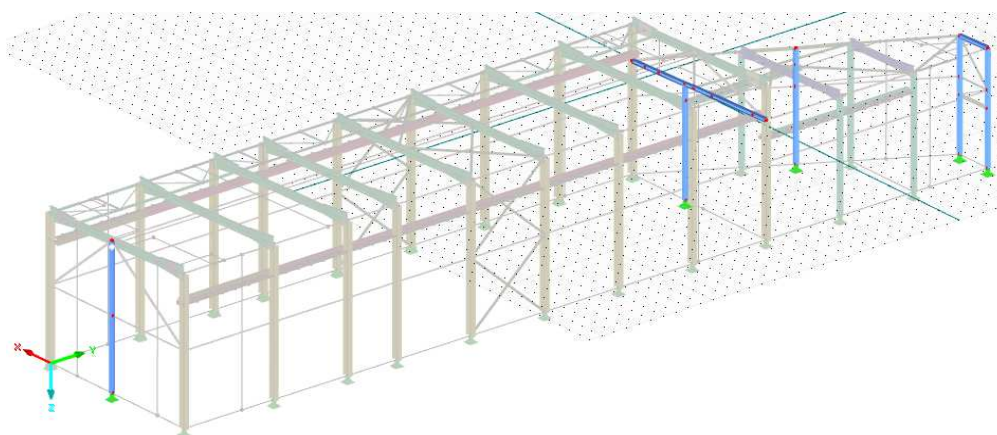
2.2.2. Přístavba

2.2.2.1. HEA600



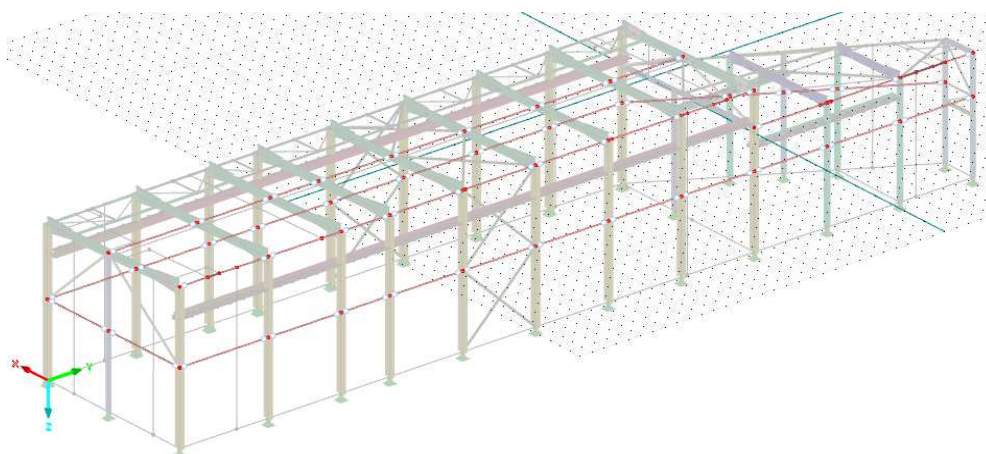
Obr. 2.3 - Geometrie konstrukce HEA 600

2.2.2.2. HEA280



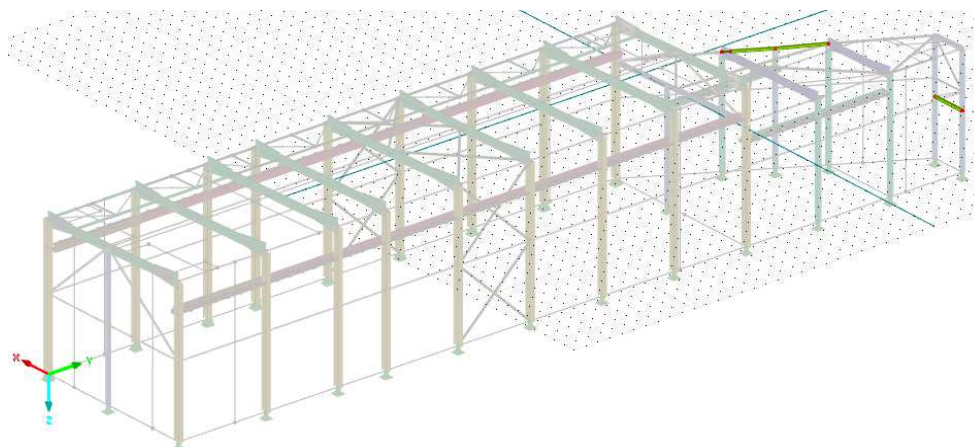
Obr. 2.4 - Geometrie konstrukce - HEA280

2.2.2.3. RO101,6x4



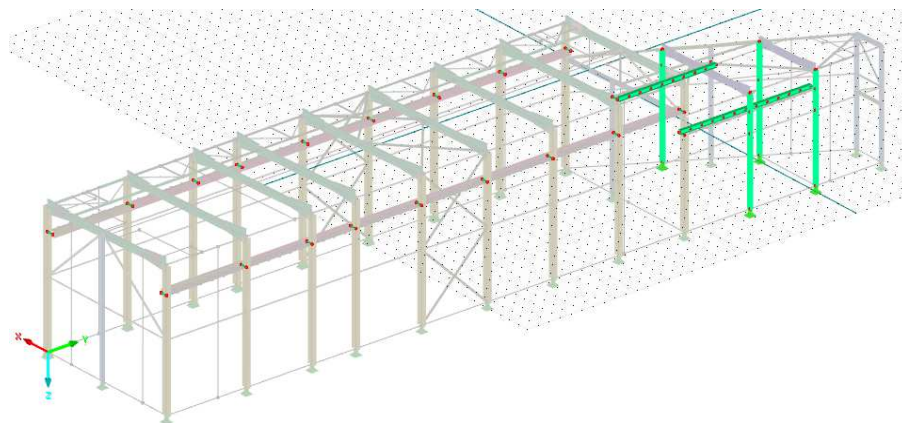
Obr. 2.5 - Geometrie konstrukce - RO101,6x4

2.2.2.4. HEA200



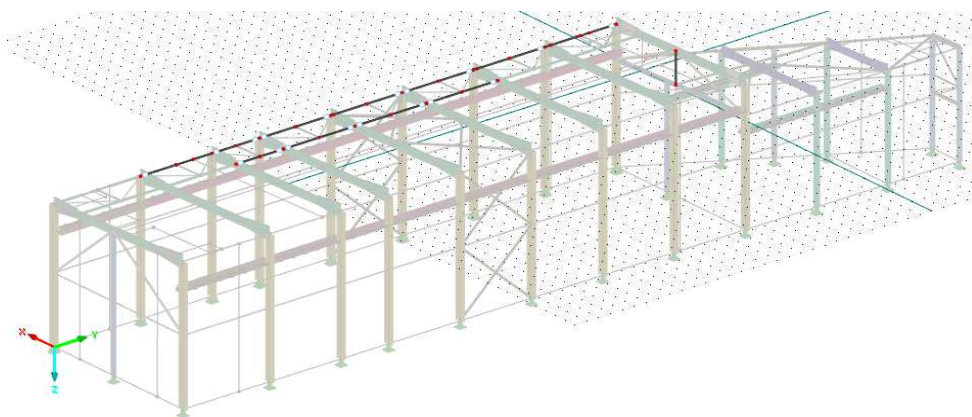
Obr. 2.6 - Geometrie konstrukce - HEA200

2.2.2.5. HEB320



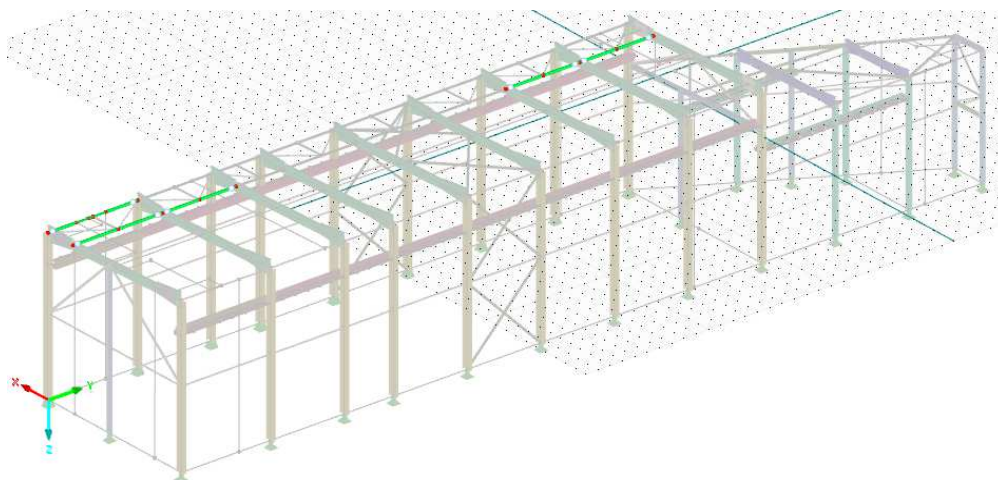
Obr. 2.7 - Geometrie konstrukce - HEB320

2.2.2.6. IPE140



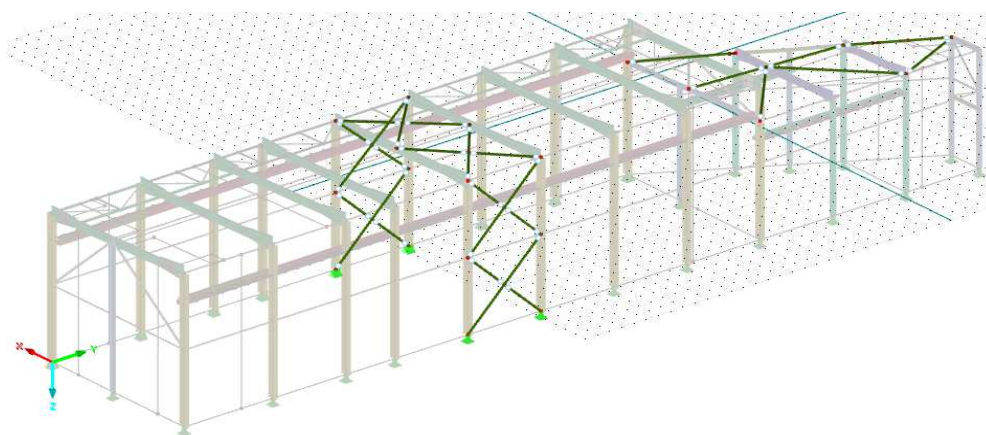
Obr. 2.8 - Geometrie konstrukce - IPE140

2.2.2.7. IPE180



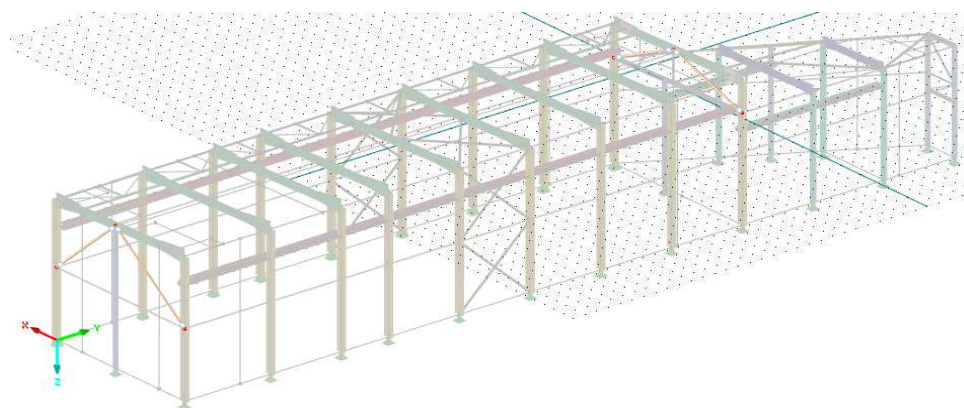
Obr. 2.9 - Geometrie konstrukce - IPE180

2.2.2.8. RO168,3x5



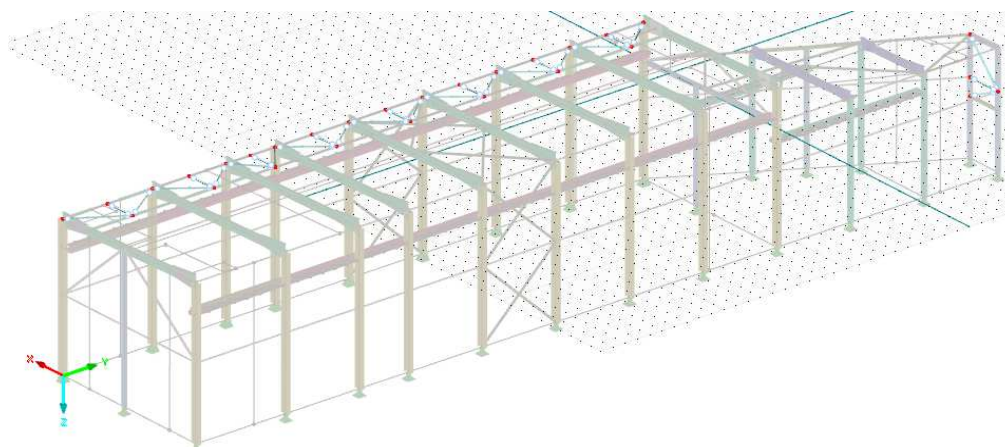
Obr. 2.10 - Geometrie konstrukce - RO168,3x5

2.2.2.9. RO168,3x8



Obr. 2.11 - Geometrie konstrukce - RO168,3x8

2.2.2.10. L100x100x8

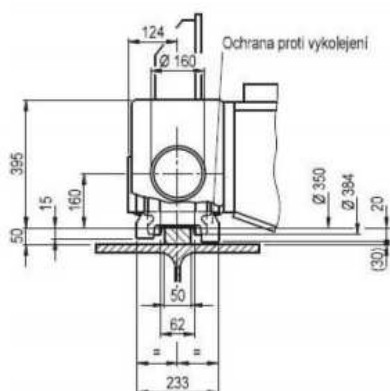


Obr. 2.12 - Geometrie konstrukce - L100x100x8

3. Technické podklady - jeřáby

3.1. Původní hala

3.1.1. Jeřáb o nosnosti 20 t



jeřáb	ZLK 20 t x 23080 mm			
základ pro výpočet	DIN 15018, H2/B3			
jeřábová kočka	GM 6000,20000 L-202,41,10000,3,DQA 280,20			
Skupina hnacího ústrojí	2m / M5			
místo provozu	provoz v hale			
okolní podmínky	-5° C až +40° C, bez zvláštních požadavků			
pojezd jeřábu	10 / 40 m/min			
pojezd kočky	5 / 20 m/min			
zvedání	0,8 / 5 m/min			
celková hmotnost	13700 kg (z toho jeřábová kočka 2041 kg)			
síťové napětí, Přípustné kolísání	3/PE -50 Hz 400 V (TN-S); -6,5% / +5%			
Celkový příkon	23 kW (rozběhový proud * cos phi: 169,3 A)+SKR-F1 = 50 A gG			
Údaje o zatížení	Zatížení kola (kN)	osa jeřábu 1 (min/max)	33,3	131,4
	(bez dynamického součinitele)	osa jeřábu 2 (min/max)	34,3	131,8
	boční zatížení (kN)	setrvačné síly pojezd jeřábu (min/max)	3,2	12,5
	šikmá síla na straně vedení (brzdny součinitel <= 0,3)		36,5	-
	horizontální zatížení ze zešikmení (strana vedení/protější strana)	Přední osa jeřábu ve směru jízdy	7,5	29,0
		Zadní osa jeřábu ve směru jízdy	0,0	0,0
	podélná břemena (kN)	setrvačné síly pojezd jeřábu (max)		4,0
	(na nosník jeřábové dráhy)	nárazové síly (max)		31,6
		(Omezovače pohybu jsou zohledněny)		
		1) Maximální dráha háku kočky 10 m, reálné použití podle montážní situace		

Obr. 3.1 - Specifikace jeřábu nosnosti 20 t

Údaje o zatížení podle ČSN EN 1991-3

Klasifikace jeřábu	S3	(pro důkaz nosníku jeřábové dráhy)
--------------------	----	------------------------------------

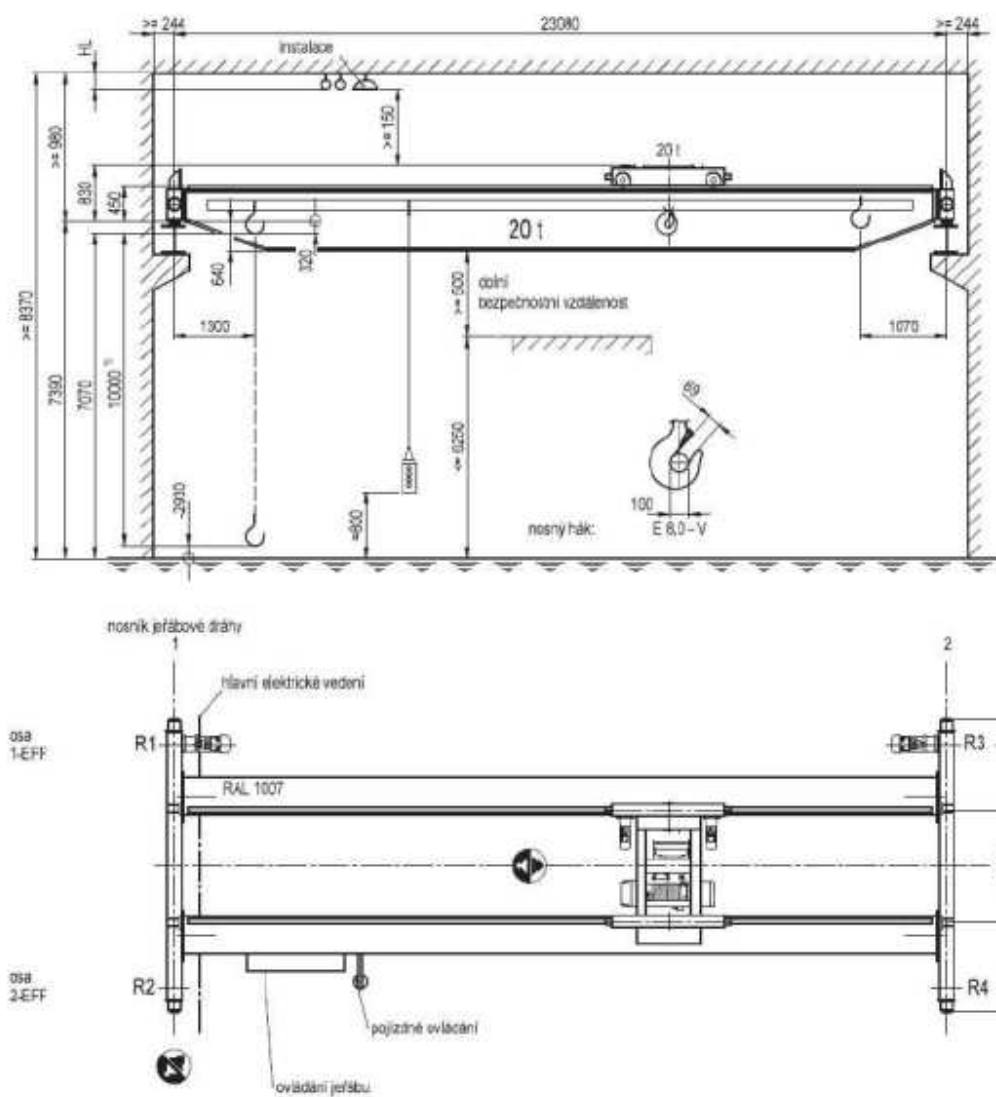
Dynamické součinitele φ_i :

φ_1	1,10	Zrychlení na základě zvedací a gravitační síly působící na hmotnost jeřábu
φ_2	1,10	Setrvačnost a gravitace při zvedání volného břemene ze země
φ_3	1,00	Setrvačnost a gravitace při náhlém uvolnění části zvedaného břemene
φ_4	1,00	Zatížení od jízdy přes nerovnosti
φ_5,kr	1,80	Zatížení od zrychlení vyvolaného pohony pojezdu jeřábu
φ_5,dy	1,05	Dynamické zkušební zatížení
$\varphi_6,stat$	1,00	Statická zkušební zátěž
φ_7,kr	1,25	Zatížení z nárazníkových sil

Účinky zatížení a příslušné složky sil:

Zatížení kola (svísle)	Složka síly od hmotnosti jeřábu a kočky/koček na osu jeřábu	$Q_{c,min,1}$	28,7	$Q_{c,max,1}$	37,4	[kN]
		$Q_{c,min,2}$	29,7	$Q_{c,max,2}$	37,8	[kN]
	Složka síly od hmotnosti zdviženého břemene na osu jeřábu	$Q_{h,min,1}$	4,6	$Q_{h,max,1}$	94,0	[kN]
		$Q_{h,min,2}$	4,6	$Q_{h,max,2}$	94,0	[kN]
Boční zatížení (vodorovné)	Síla od zrychlení jeřábu se zdviženým břemenem (setrvačná síla)	$H_{T,min}$	2,1	$H_{T,max}$	8,3	[kN]
	šikmá síla (brzdny součinitel <= 0,3)	S			36,5	[kN]
	Vodorovná síla ze šikmého chodu na osu jeřábu	$H_{S,min,1}$	0,0	$H_{S,max,1}$	0,0	[kN]
		$H_{S,min,2}$	7,5	$H_{S,max,2}$	29,0	[kN]
Podélné zatížení (vodorovné) (na nosník jeřábové dráhy)	Síla od zrychlení jeřábu se zdviženým břemenem (setrvačná síla)	H_L			2,7	[kN]
	Síla od nárazu do nárazníku (koncová síla nárazníku) (Omezovače pohybu jsou zohledněny)	H_{B1}			25,3	[kN]

Obr. 3.2 - Zatížení jeřábu nosnosti 20 t



Obr. 3.3 - Geometrie jeřábu nosnosti 20 t

3.1.2. Jeřáb nosnosti 10 t

Skupina jeřábu dle ČSN 27 0103 : H2,D2,J3		Umístění jeřábu: v kryté hale		Prostředí el.zařízení dle ČSN 33 2000-3 čl.320.N4: normální			
Nosnost: 10 000 kg		Rozpětí: 23,08 m Rozvor: 3,15 m		Výška zdvihu: 6,76 m		Vypočítaný průhyb 31,1 mm	
Druh pohonu: elektrický				Řízení: závěsným tlačítkovým ovladačem			
Přístup na jeřáb: z mobilní plošiny				Tlak na kolo max. 67,4 kN min 20,2 kN		Šířka kolejnice: 50 mm	
Nosná konstrukce zdvihacího zařízení: mosty s příčnky							
JEŘÁBOVÁ DRÁHA							
Jeřábová dráha:		Délka: 58 m		Výška: 7,39 m		Rozpon: 23,08 m	
Nárazová energie jeřábu na nárazku jeřábové dráhy:						662 J	
Druh kočky: podvěsná kočka s nízkou stavební výškou				Rozchod: 400 mm (pásnice)		Rozvor: 940 mm	
Druh kladkostroje: elektrický lanový STAHL SH 5025-20 4/1 L3							
Nosné orgány (lana, řetězy, konstrukce, rozměry, číslo normy) lano Ø 12,67 mm, viz. atest lana - Návod k montáži, obsluze a údržbě pro lanový kladkostroj STAHL							
PROSTŘEDKY PRO UCHYCENÍ BŘEMENE							
Název a technické údaje (háč, drapák, magnet, kleště apod.) jednoduchý hák 4 DIN 15401, v.č. 14169 09246 viz. atest háku - Návod k montáži, obsluze a údržbě pro lanový kladkostroj STAHL							

Obr. 3.4 - Specifikace jeřábu nosnosti 10 t

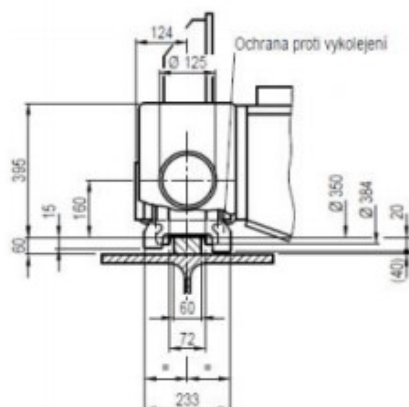
3.1.3. Jeřáb nosnosti 8 t

Skupina jeřábu dle ČSN 27 0103 : H2,D2,J3		Umístění jeřábu: v kryté hale		Prostředí el.zařízení dle ČSN 33 2000-3 čl.320.N4: normální			
Nosnost: 8 000 kg		Rozpětí: 11,45 m Rozvor: 1,60 m		Výška zdvihu: 6,76 m		Vypočítaný průhyb 9,8 mm	
Druh pohonu: elektrický				Řízení: závěsným tlačítkovým ovladačem			
Přístup na jeřáb: z mobilní plošiny				Tlak na kolo max. 45,5 kN min 10,4 kN		Šířka kolejnice: 50 mm	
Nosná konstrukce zdvihacího zařízení: mosty s příčnky							
JEŘÁBOVÁ DRÁHA							
Jeřábová dráha:		Délka: 20 m		Výška: 7,39 m		Rozpon: 11,45 m	
Nárazová energie jeřábu na nárazku jeřábové dráhy: 308 J							
Druh kočky: podvěsná kočka s nízkou stavební výškou				Rozchod: 400 mm (pásnice)		Rozvor: 940 mm	
Druh kladkostroje: elektrický lanový STAHL SH 5020-25 4/1 L3							
Nosné orgány (lana, řetězy, konstrukce, rozměry, číslo normy) lano Ø 12,67 mm, viz. atest lana - Návod k montáži, obsluze a údržbě pro lanový kladkostroj STAHL							
PROSTŘEDKY PRO UCHYCENÍ BŘEMENE							
Název a technické údaje (háč, drapák, magnet, kleště apod.) jednoduchý hák 4 DIN 15401, v.č. 14169 09246 viz. atest háku - Návod k montáži, obsluze a údržbě pro lanový kladkostroj STAHL							

Obr. 3.5 - Specifikace jeřábu nosnosti 8 t

3.2. Přístavba

3.2.1. Jeřáb o nosnosti 20 t



jeřáb	ZLK 20 t x 12400 mm			
základ pro výpočet	DIN 15018, H2/B3			
jeřábová kočka	GM 6000 20000 L-202 41.10000 3.DQA 280 20			
Skupina hnacího ústrojí	2m / M5			
místo provozu	provoz v hale			
okolní podmínky	-5° C až +40° C, bez zvláštních požadavků			
pojezd jeřábu	10 / 40 m/min			
pojezd kočky	5 / 20 m/min			
zvedání	0,8 / 5 m/min			
celková hmotnost	7360 kg (z toho jeřábová kočka 1956 kg)			
síťové napětí, Přípustné kolísání	3/PE ~50 Hz 400 V (TN-S); -6,5% / +5%			
Celkový příkon	23 kW (rozběhový proud * cos phi: 172 A *SKR-F1 = 50 A qG			
Údaje o zatížení	Zatížení kola (kN) (bez dynamického součinitele)	osa jeřábu 1 (min/max)	22,4	111,6
	boční zatížení (kN)	osa jeřábu 2 (min/max)	22,9	111,6
	šikmá síla na straně vedení (brzdový součinitel <= 0,3)	setrvačné síly pojezd jeřábu (min/max)	1,8	6,5
	horizontální zatížení ze zešikmení (strana vedení/protější strana)		32,4	-
	podélná břemena (kN) (na nosník jeřábové dráhy)	Přední osa jeřábu ve směru jízdy	5,5	26,9
		Zadní osa jeřábu ve směru jízdy	0,0	0,0
		setrvačné síly pojezd jeřábu (max)		3,6
	nárazové síly (max)		25,4	
	(Omezovače pohybu jsou zohledněny)			

¹⁾ Maximální dráha háku kočky 10 m, reálné použití podle montážní situace

Obr. 3.6 - Specifikace jeřábu nosnosti 20 t - přístavba

Údaje o zatížení podle ČSN EN 1991-3

Klasifikace jeřábu	S3	(pro důkaz nosníku jeřábové dráhy)
--------------------	----	------------------------------------

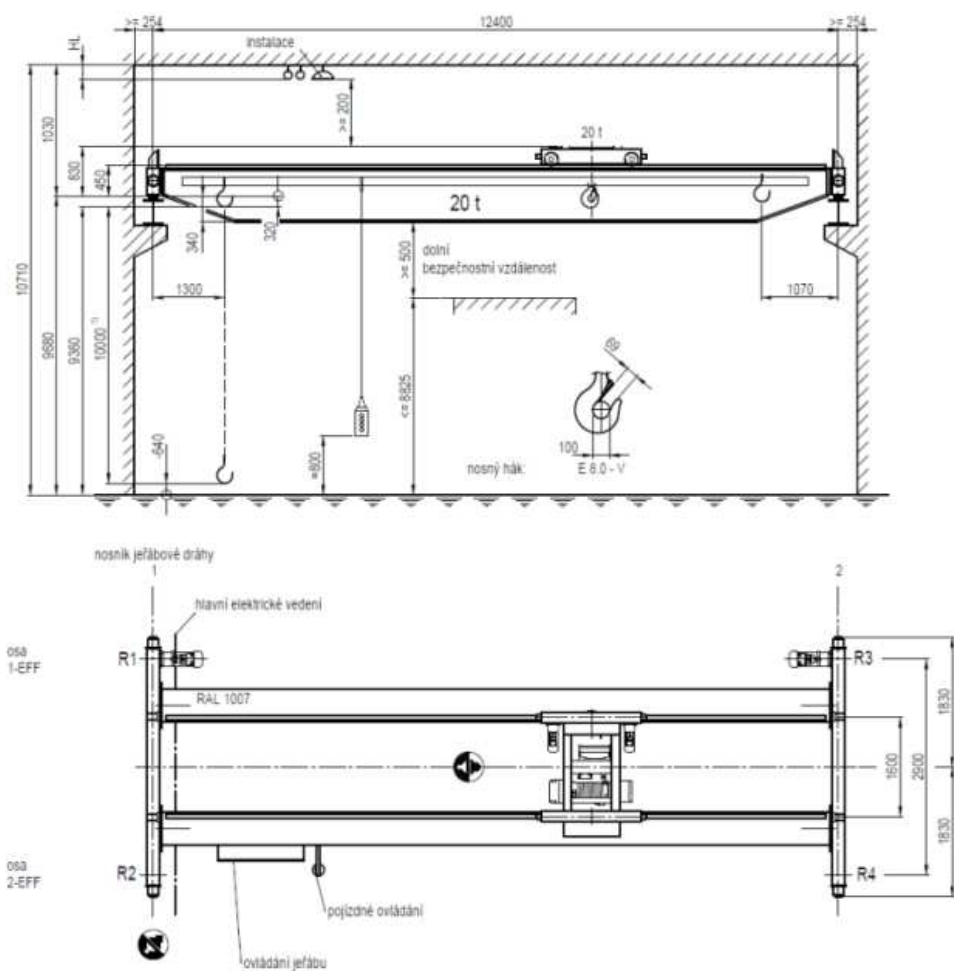
Dynamické součinitele ϕ_i :

ϕ_1	1,10	Zrychlení na základě zvedací a gravitační síly působící na hmotnost jeřábu
ϕ_2	1,10	Setrvačnost a gravitace při zvedání volného břemene ze země
ϕ_3	1,00	Setrvačnost a gravitace při náhlém uvoznění části zvedaného břemene
ϕ_4	1,00	Zatížení od jízdy přes nerovnosti
$\phi_{5,10}$	1,80	Zatížení od zrychlení vyvolaného pohony pojezdu jeřábu
$\phi_{6,5m}$	1,05	Dynamické zkušební zatížení
$\phi_{6,mm}$	1,00	Statická zkušební zátěž
$\phi_{7,kr}$	1,25	Zatížení z nárazníkových sil

Účinky zatížení a příslušné síly s_i :

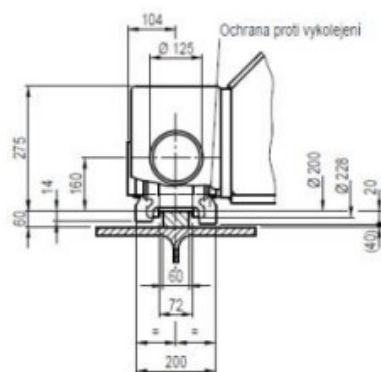
Zatížení kola (svislé)	Složka síly od hmotnosti jeřábu a kočky/koček na osu jeřábu	$Q_{c,min,1}$	13,9	$Q_{c,max,1}$	21,5	[kN]
		$Q_{c,min,2}$	14,4	$Q_{c,max,2}$	21,5	[kN]
	Složka síly od hmotnosti zdvíženého břemene na osu jeřábu	$Q_{h,min,1}$	8,5	$Q_{h,max,1}$	50,1	[kN]
		$Q_{h,min,2}$	8,5	$Q_{h,max,2}$	50,1	[kN]
Boční zatížení (vodorovné)	Síla od zrychlení jeřábu se zdvíženým břemenem (setrvačná síla)	$H_{T,min}$	1,1	$H_{T,max}$	5,7	[kN]
	šikmá síla (brzdový součinitel <= 0,3)	S			32,4	[kN]
	Vodorovná síla ze šikmého chodu na osu jeřábu	$H_{S,min,1}$	0,0	$H_{S,max,1}$	0,0	[kN]
		$H_{S,min,2}$	5,5	$H_{S,max,2}$	26,9	[kN]
Podélné zatížení (vodorovné) (na nosník jeřábové dráhy)	Síla od zrychlení jeřábu se zdvíženým břemenem (setrvačná síla)	H _L			2,4	[kN]
	Síla od nárazu do nárazníku (koncová síla nárazníku) (Omezovače pohybu jsou zohledněny)	H _{B1}			20,3	[kN]

Obr. 3.7 - Zatížení jeřábu nosnosti 20 t - přístavba



Obr. 3.8 - Geometrie jeřábu nosnosti 20 t - přístavba

3.2.2. Jeřáb o nosnosti 10 t



jeřáb	ELV 10 t x 12400 mm			
základ pro výpočet	DIN 15018, H2/B3			
jeřábová kočka	GM 3000.10000 H-202 41.10000.4 E 160.20			
Skupina hnacího ústrojí	2m / M5			
místo provozu	provoz v hale			
okolní podmínky	-5° C až +40° C, bez zvláštních požadavků			
pojezd jeřábu	10 / 40 m/min			
pojezd kočky	5 / 20 m/min			
zvedání	0,8 / 5 m/min			
celková hmotnost	4210 kg (z toho jeřábová kočka 724 kg)			
síťové napětí, Přípustné kolísání	3/PE ~50 Hz 400 V (TN-S) -6,5% / +5%			
Celkový příkon	11,8 kW (rozběhový proud * cos phi: 94 A) + SKR-F1 = 35 A gG			
Údaje o zatížení	Zatížení kola (kN)	osa jeřábu 1 (min/max)	12,2	57,2
	(bez dynamického součinitele)	osa jeřábu 2 (min/max)	12,4	57,6
	boční zatížení (kN)	setrvačné síly pojezd jeřábu (min/max)	1,9	8,5
		šílká síla na straně vedení (brzdny součinitel <= 0,3)	19,0	-
	horizontální zatížení ze zešílkmení (strana vedení/protější strana)	Přední osa jeřábu ve směru jízdy	3,4	15,6
		Zadní osa jeřábu ve směru jízdy	0,0	0,0
	podélná břemena (kN)	setrvačné síly pojezd jeřábu (max)		2,5
	(na nosník jeřábové dráhy)	nárazové síly (max)		19,2
	(Omezovalče pohybu jsou zohledněny)			

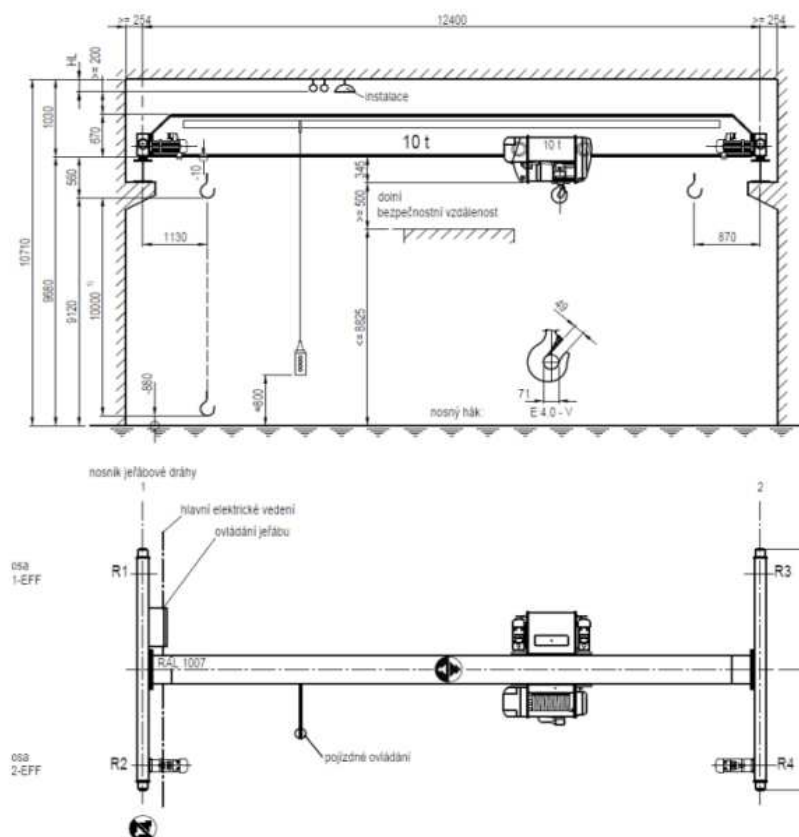
¹⁾ Maximální dráha háku kočky 10 m, reálně použito podle montážní situace

Obr. 3.9 - Specifikace jeřábu nosnosti 10 t - přístavba

Údaje o zatížení podle ČSN EN 1991-3

Klasifikace jeřábu	S3	(pro důkaz nosníku jeřábové dráhy)					
Dynamické součinitele ψ :							
ψ_1	1,10	Zrychlení na základě zvedací a gravitační síly působící na hmotnost jeřábu					
ψ_2	1,10	Setrvačnost a gravitace při zvedání volného břemene ze země					
ψ_3	1,00	Setrvačnost a gravitace při náhlém uvolnění části zvedaného břemene					
ψ_4	1,00	Zatížení od jízdy přes nerovnosti					
$\psi_{5,cr}$	1,80	Zatížení od zrychlení vyvolaného pohony pojezdu jeřábu					
$\psi_{6,dyn}$	1,05	Dynamické zkušební zatížení					
$\psi_{6,stat}$	1,00	Statická zkušební zátěž					
$\psi_{7,cr}$	1,25	Zatížení z nárazníkových sil					
Účinky zatížení a příslušné síly S :							
Zatížení kola (vislé)	Složka síly od hmotnosti jeřábu a kočky/koček na osu jeřábu	$Q_{c,max,1}$	8,7	$Q_{c,max,1}$	11,4	[kN]	
		$Q_{c,max,2}$	8,9	$Q_{c,max,2}$	11,8	[kN]	
	Složka síly od hmotnosti zvedaného břemene na osu jeřábu	$Q_{b,max,1}$	3,5	$Q_{b,max,1}$	45,8	[kN]	
		$Q_{b,max,2}$	3,5	$Q_{b,max,2}$	45,8	[kN]	
Boční zatížení (vodorovné)	Síla od zrychlení jeřábu se zvedaným břemenem (setrvačná síla)	$H_{T,min}$	1,2	$H_{T,max}$	5,7	[kN]	
	Šikmá síla (brzdný součinitel $\leq 0,3$)	S				19,0	[kN]
	Vodorovná síla ze šikmého chodu na osu jeřábu	$H_{S,min,1}$	0,0	$H_{S,max,1}$	0,0	[kN]	
		$H_{S,min,2}$	3,4	$H_{S,max,2}$	15,6	[kN]	
Podélné zatížení (vodorovné) (na nosník jeřábové dráhy)	Síla od zrychlení jeřábu se zvedaným břemenem (setrvačná síla)	H_L				1,6	[kN]
	Síla od nárazu do nárazníku (koncová síla nárazníku) (Omezovače pohybu jsou zohledněny)	H_{B1}				15,4	[kN]

Obr. 3.10 - Zatížení jeřábu nosnosti 10 t - přístavba



Obr. 3.11 - Geometrie jeřábu nosnosti 10 t - přístavba

3.2.3. Jeřáb o nosnosti 5 t

Pro zatížení od jeřábu s nosností 5 t ve zúžené nižší části haly bylo počítáno s poloviční nosností jeřábu o nosnosti 10 t.

4. Zatížení

4.1. Stálé zatížení

4.1.1. Vlastní tíha konstrukce

Automaticky generováno softwarem RFEM.

4.1.2. Střešní a obvodový plášť

Zatížení od střešního pláště a obvodového pláště je generováno pomocí generátoru plošného zatížení na pruty prostřednictvím roviny v jednom zatěžovacím stavu ZS 2 v obou modelech hal.

4.1.2.1. Původní hala

Zatížení od střešního pláště uvažováno v hodnotě $0,14 \text{ kN/m}^2$.

Zatížení od panelů obvodového pláště uvažováno v hodnotě $0,25 \text{ kN/m}^2$.

4.1.2.2. Přístavba

Zatížení od střešního pláště uvažováno v hodnotě $0,3 \text{ kN/m}^2$.

Zatížení od panelů obvodového pláště uvažováno v hodnotě $0,25 \text{ kN/m}^2$.

4.2. Proměnné zatížení - Užitné zatížení

4.2.1. Jeřáb

Zatížení od jeřábů jsou klasifikována jako proměnná a mimořádná zatížení. Při běžných provozních podmínkách jsou proměnná zatížení od jeřábu výsledkem změn v čase a změn polohy. Zahrnují zatížení vlastní tíhou včetně zatížení kladkostrojů, setrvačné síly způsobené zrychlením, zpomalením a přičením, a jiné dynamické účinky.

4.2.1.1. Původní hala

Tab. 4.1 – Technické podklady jeřábů

	JEŘÁB 20 t	JEŘÁB 10 t	JEŘÁB 8 t/11,45	JEŘÁB 8 t/16,15
ROZVOR KOL a (m)	2,9	3,15	1,6	2,5
HM. KOČKY (kg)	1956	795	795	795
HM. JEŘÁB (kg)	5404	6733	2375	3831
SKUPINA	S3	S3	S3	S3

Dynamické složky vyvolané kmitáním v důsledku setrvačných a tlumících sil jsou obecně vyjádřeny dynamickými součiniteli φ_i , kterými se násobí statické hodnoty zatížení.

Tab. 4.2 – Dynamické součinitele φ

SOUČINITEL	JEŘÁB 20 t	JEŘÁB 10 t	JEŘÁB 8 t/11,45	JEŘÁB 8 t/16,15
φ_1	1,10	1,10	1,1	1,1
φ_2	1,10	1,13	1,14	1,14
φ_3	1,00	1,00	1	1
φ_4	1,00	1,00	1	1
φ_5	1,80	1,80	1,80	1,80
φ_{6a}	1,05	1,05	1,05	1,05
φ_{6b}	1,00	1,00	1,00	1,00
φ_7	1,23	1,23	1,23	1,23

Proměnná zatížení od jeřábů lze rozdělit na svislá a vodorovná. Mezi svislá proměnná zatížení patří zatížení vlastní tíhou jeřábu a zatížením kladkostroje. Mezi vodorovná proměnná zatížení patří zatížení způsobená zrychlením, zpomalením, přičením.

Jeřáby mohou vyvolat mimořádné zatížení následkem nárazu na nárazníky (síly od nárazu jeřábu na nárazník) nebo při střetnutí prostředků pro uchopení břemene s překážkami (klopné síly).

Tab. 4.3 – Zatížení od jeřábů

ZATÍŽENÍ KOLA	JEŘÁB 20 t	JEŘÁB 10 t	JEŘÁB 8 t/11,45	JEŘÁB 8 t/16,15
SVISLÉ	kN	kN	kN	kN
Q _{r,min}	14,4	8,9	8,9	8,9
Q _{r,(min)}	21,5	11,8	11,8	11,8
Q _{r,max}	8,5	3,5	3,5	3,5
Q _{r,(max)}	90,1	45,8	45,8	45,8
BOČNÍ				
H _{t,1}	1,1	1,2	1,2	1,2
H _{t,2}	5,7	5,7	5,7	5,7
S	32,4	19	19	19
H _{s,min}	5,5	3,4	3,4	3,4
H _{s,max}	26,9	15,6	15,6	15,6
PODÉLNÉ				
H _{l,k}	2,4	1,6	1,6	1,6
HB1	20,3	15,4	15,4	15,4

4.2.1.1.1. Jeřáb nosnosti 20 t

4.2.1.1.1.1. Skupina 1

Svislé zatížení:

$$Q_{r,k} = \varphi_1 \cdot Q_{c,k} + \varphi_2 \cdot Q_{H,k} \quad (4.1)$$

$$Q_{r,k} = 1,1 \cdot \frac{54,04}{4} + 1,1 \cdot \frac{(19,56 + 200) \cdot (23,08 - 1,07)}{23,08 \cdot 2} = 130,02 \text{ kN}$$

$$Q_{r,d} = \gamma \cdot Q_{r,k} = 1,35 \cdot 130,02 = 175,53 \text{ kN} \quad (4.2)$$

Vodorovné příčné zatížení:

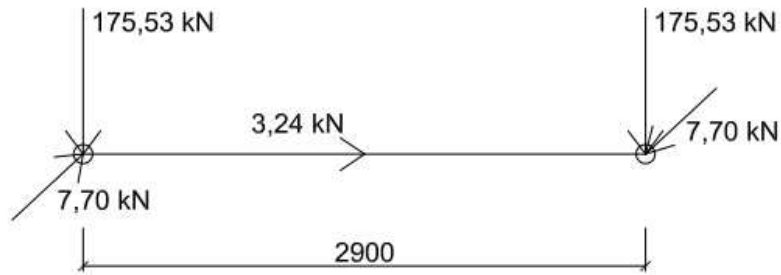
$$H_{T,2,k} = 5,7 \text{ kN}$$

$$H_{T,2,d} = \gamma \cdot H_{T,2,k} = 1,35 \cdot 5,7 = 7,7 \text{ kN} \quad (4.3)$$

Vodorovné podélné zatížení:

$$H_{L,k} = 2,4 \text{ kN}$$

$$H_{L,d} = \gamma \cdot H_{L,k} = 1,35 \cdot 2,4 = 3,24 \text{ kN} \quad (4.4)$$



Obr. 4.1 - Zatížení jeřábu nosnosti 20 t - skupina 1

4.2.1.1.2. Skupina 5

Svislé zatížení:

$$Q_{r,k} = \varphi_4 \cdot Q_{c,k} + \varphi_4 \cdot Q_{H,k} \quad (4.5)$$

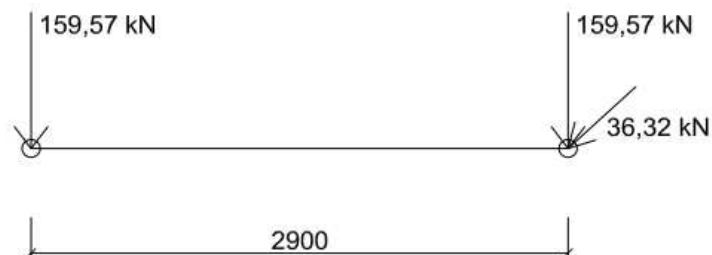
$$Q_{r,k} = 1,0 \cdot \frac{54,04}{4} + 1,0 \cdot \frac{(19,56 + 200) \cdot (23,08 - 1,07)}{23,08 \cdot 2} = 118,2 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.2)} \quad Q_{r,d} = 1,35 \cdot 118,2 = 159,57 \text{ kN}$$

Vodorovné příčné zatížení:

$$H_{s,k} = 26,9 \text{ kN}$$

$$H_{s,d} = \gamma \cdot H_{s,k} = 1,35 \cdot 26,9 = 36,32 \text{ kN} \quad (4.6)$$



Obr. 4.2 - Zatížení jeřábu nosnosti 20 t - skupina 5

4.2.1.1.2. Jeřáb nosnosti 10 t

4.2.1.1.2.1. Skupina 1

Svislé zatížení:

$$\text{dle (4.1)} \quad Q_{r,k} = 1,1 \cdot \frac{67,33}{4} + 1,1 \cdot \frac{(7,95+100) \cdot (23,08-0,92)}{23,08 \cdot 2} = 75,52 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.2)} \quad Q_{r,d} = 1,35 \cdot 75,52 = 101,95 \text{ kN}$$

Vodorovné podélné zatížení:

$$Q_{c,k} = \frac{67,33}{4} = 16,83 \text{ kN}$$

$$Q_{H,min} = \frac{7,95 \cdot 0,92}{23,08} = 0,32 \text{ kN}$$

$$Q_{r,min} = 2 \cdot Q_{c,k} + Q_{H,min} = 2 \cdot 16,83 + 0,32 = 33,98 \text{ kN} \quad (4.7)$$

$$K = \mu \cdot m_w \cdot Q_{r,min} = 0,2 \cdot 2 \cdot 33,98 = 13,59 \text{ kN} \quad (4.8)$$

$$H_{L,k} = \varphi_5 \cdot K \cdot \frac{1}{n_r} = 1,8 \cdot 13,59 \cdot \frac{1}{2} = 12,23 \text{ kN} \quad (4.9)$$

$$H_{L,d} = \gamma \cdot H_{L,k} = 1,35 \cdot 12,23 = 16,51 \text{ kN} \quad (4.10)$$

Vodorovné příčné zatížení:

$$\sum Q_{H,max} = \frac{107,95 \cdot (23,08 - 0,92)}{23,08} = \frac{107,95 \cdot 22,16}{23,08} = 103,65 \text{ kN}$$

$$\sum Q_{r,max} = 2 \cdot Q_{c,k} + \sum Q_{H,max} = 2 \cdot 16,83 + 103,65 = 137,31 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$\begin{aligned} \sum Q_{r,(max)} &= 2 \cdot Q_{c,k} + (107,95 - \sum Q_{H,max}) \\ &= 2 \cdot 16,83 + (107,95 - 103,65) = 37,96 \text{ kN} \end{aligned} \quad (4.12)$$

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_{r,max} + \sum Q_{r,(max)}} = \frac{137,31}{137,31 + 37,96} = 0,78 \quad (4.13)$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0,78 = 0,22 \quad (4.14)$$

$$l_s = (\xi_1 - 0,5) \cdot l = (0,78 - 0,5) \cdot 23,08 = 6,46 \text{ kN} \quad (4.15)$$

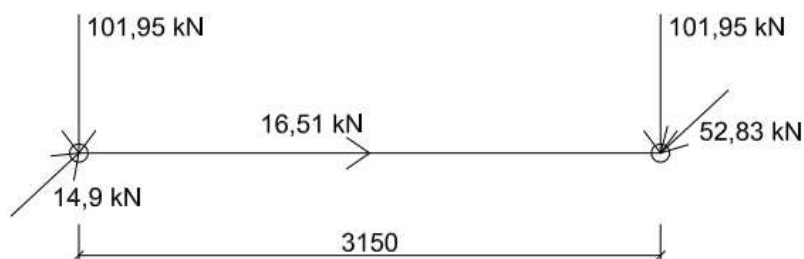
$$M = K \cdot l_s = 13,59 \cdot 6,46 = 87,79 \text{ kNm} \quad (4.16)$$

$$H_{T,1,k} = \varphi_5 \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{a} = 1,8 \cdot 0,22 \cdot \frac{87,79}{3,15} = 11,04 \text{ kN} \quad (4.17)$$

$$H_{T,1,d} = \gamma \cdot H_{T,1,k} = 1,35 \cdot 11,04 = 14,9 \text{ kN} \quad (4.18)$$

$$H_{T,2,k} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{a} = 1,8 \cdot 0,78 \cdot \frac{87,79}{3,15} = 39,13 \text{ kN} \quad (4.19)$$

$$H_{T,2,d} = \gamma \cdot H_{T,2,k} = 1,35 \cdot 39,13 = 52,83 \text{ kN} \quad (4.20)$$



Obr. 4.3 - Zatížení jeřábu nosnosti 10 t - skupina 1

4.2.1.1.2.2. Skupina 5

Svislé zatížení:

$$\text{dle (4.5)} \quad Q_{r,k} = 1,0 \cdot \frac{67,33}{4} + 1,0 \cdot \frac{(7,95+100) \cdot (23,08-0,92)}{23,08 \cdot 2} = 68,66 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.2)} \quad Q_{r,d} = 1,35 \cdot 68,66 = 92,69 \text{ kN}$$

Vodorovné příčné zatížení:

$$H_{s,k} = 15,6 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.6) } H_{s,d} = 1,35 \cdot 15,6 = 21,06 \text{ kN}$$



Obr. 4.4 - Zatížení jeřábu nosnosti 10 t - skupina 5

4.2.1.1.3. Jeřáb nosnosti 8 t/11,45

Vzhledem k nedostatečným podkladům jeřábu s nosností 8 t bylo ke statickému posouzení využito konzervativní porovnání s jeřábem nosnosti 10 t a hodnoty zatížení odhadnuty.

4.2.1.1.3.1. Skupina 1

Svislé zatížení:

$$\text{dle (4.1) } Q_{r,k} = 1,1 \cdot \frac{23,75}{4} + 1,1 \cdot \frac{(7,95+80) \cdot (11,45-0,92)}{11,45 \cdot 2} = 51,02 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.2) } Q_{r,d} = 1,35 \cdot 51,02 = 68,88 \text{ kN}$$

Vodorovné podélné zatížení:

$$Q_{c,k} = \frac{23,75}{4} = 5,94 \text{ kN}$$

$$Q_{H,min} = \frac{7,95 \cdot 0,92}{11,45} = 0,64 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.7) } Q_{r,min} = 2 \cdot 5,94 + 0,64 = 12,52 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.8) } K = 0,2 \cdot 2 \cdot 12,52 = 5,01 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.9) } H_{L,k} = 1,8 \cdot 5,01 \cdot \frac{1}{2} = 4,51 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.10) } H_{L,d} = 1,35 \cdot 4,51 = 6,09 \text{ kN}$$

Vodorovné příčné zatížení:

$$\sum Q_{H,max} = \frac{87,95 \cdot (11,45 - 0,92)}{11,45} = \frac{87,95 \cdot 10,53}{11,45} = 80,88 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.11)} \sum Q_{r,max} = 2 \cdot 5,94 + 80,88 = 92,76 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.12)} \sum Q_{r,(max)} = 2 \cdot 5,94 + (87,95 - 80,88) = 18,95 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.13)} \xi_1 = \frac{92,76}{92,76 + 18,95} = 0,83$$

$$\text{dle (4.14)} \xi_2 = 1 - 0,83 = 0,17$$

$$\text{dle (4.15)} l_s = (0,83 - 0,5) \cdot 11,45 = 3,78 \text{ kN}$$

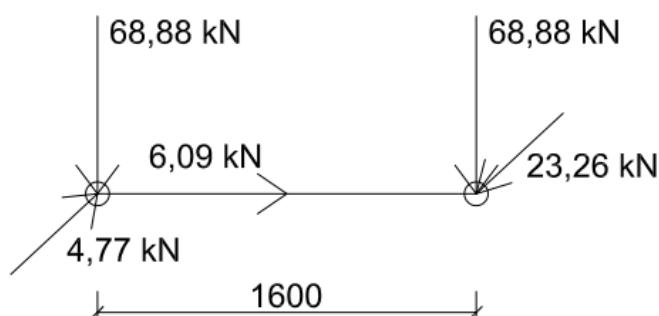
$$\text{dle (4.16)} M = 4,88 \cdot 3,78 = 18,45 \text{ kNm}$$

$$\text{dle (4.17)} H_{T,1,k} = 1,8 \cdot 0,17 \cdot \frac{18,45}{1,6} = 3,53 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.18)} H_{T,1,d} = 1,35 \cdot 3,53 = 4,77 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.19)} H_{T,2,k} = 1,8 \cdot 0,83 \cdot \frac{18,45}{1,6} = 17,23 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.20)} H_{T,2,d} = 1,35 \cdot 17,23 = 23,26 \text{ kN}$$



Obr. 4.5 - Zatížení jeřábu nosnosti 8 t / 11,45 - skupina I

4.2.1.1.3.2. Skupina 5

Svislé zatížení:

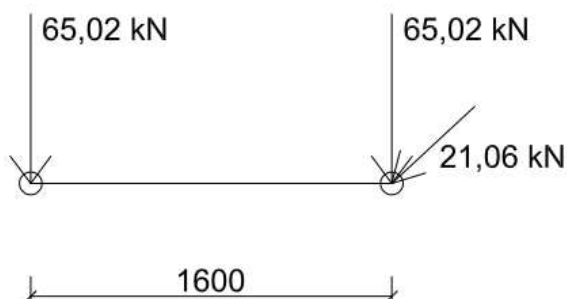
$$\text{dle (4.5)} Q_{r,k} = 1,0 \cdot \frac{23,75}{4} + 1,0 \cdot \frac{(7,95 + 80) \cdot (11,45 - 0,92)}{11,45 \cdot 2} = 46,38 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.2)} Q_{r,d} = 1,35 \cdot 46,38 = 65,02 \text{ kN}$$

Vodorovné příčné zatížení:

$$H_{s,k} = 15,6 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.6)} \quad H_{s,d} = \gamma \cdot H_{s,k} = 1,35 \cdot 15,6 = 21,06 \text{ kN}$$



Obr. 4.6 - Zatížení jeřábu nosnosti 8 t /11,45 - skupina 5

4.2.1.1.4. Jeřáb nosnosti 8 t/16,15

Vzhledem k nedostatečným podkladům jeřábu s nosností 8 t bylo ke statickému posouzení využito konzervativní porovnání s jeřábem nosnosti 10 t a hodnoty zatížení odhadnuty.

4.2.1.1.4.1. Skupina 1

Svislé zatížení:

$$\text{dle (4.1)} \quad Q_{r,k} = 1,1 \cdot \frac{38,31}{4} + 1,1 \cdot \frac{(7,95+80) \cdot (16,15-0,92)}{16,15 \cdot 2} = 56,15 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.2)} \quad Q_{r,d} = \gamma \cdot Q_{r,k} = 1,35 \cdot 56,15 = 75,80 \text{ kN}$$

Vodorovné podélné zatížení:

$$Q_{c,k} = \frac{38,31}{4} = 9,58 \text{ kN}$$

$$Q_{H,min} = \frac{7,95 \cdot 0,92}{16,15} = 0,45 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.7)} \quad Q_{r,min} = 2 \cdot 9,58 + 0,45 = 19,61 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.8)} \quad K = 0,2 \cdot 2 \cdot 19,61 = 7,84 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.9)} \quad H_{L,k} = 1,8 \cdot 7,84 \cdot \frac{1}{2} = 7,06 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.10)} \quad H_{L,d} = 1,35 \cdot 7,06 = 9,53 \text{ kN}$$

Vodorovné příčné zatížení:

$$\sum Q_{H,max} = \frac{87,95 \cdot (16,15 - 0,92)}{16,15} = \frac{87,95 \cdot 15,23}{16,15} = 82,94 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.11)} \sum Q_{r,max} = 2 \cdot 9,58 + 82,94 = 102,1 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.12)} \sum Q_{r,(max)} = 2 \cdot 9,58 + (87,95 - 82,94) = 24,17 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.13)} \xi_1 = \frac{102,1}{102,1 + 24,17} = 0,81$$

$$\text{dle (4.14)} \xi_2 = 1 - 0,81 = 0,19$$

$$\text{dle (4.15)} l_s = (0,81 - 0,5) \cdot 16,15 = 5,01 \text{ kN}$$

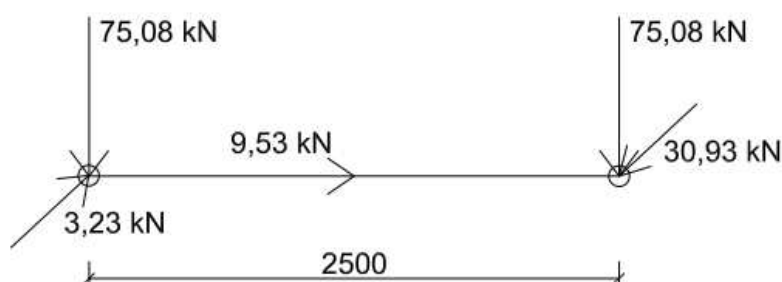
$$\text{dle (4.16)} M = 7,84 \cdot 5,01 = 39,28 \text{ kNm}$$

$$\text{dle (4.17)} H_{T,1,k} = 1,8 \cdot 0,19 \cdot \frac{39,28}{2,5} = 2,39 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.18)} H_{T,1,d} = 1,35 \cdot 2,39 = 3,23 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.19)} H_{T,2,k} = 1,8 \cdot 0,81 \cdot \frac{39,28}{2,5} = 22,91 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.20)} H_{T,2,d} = 1,35 \cdot 22,91 = 30,93 \text{ kN}$$



Obr. 4.7 - Zatížení jeřábu nosnosti 8 t/16,15 - skupina 1

4.2.1.1.4.2. Skupina 5

Svislé zatížení:

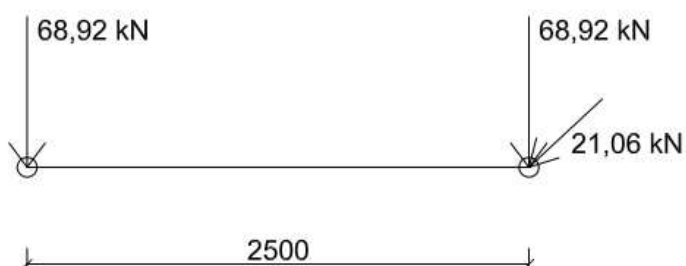
$$\text{dle (4.5)} Q_{r,k} = 1,0 \cdot \frac{38,31}{4} + 1,0 \cdot \frac{(7,95 + 80) \cdot (16,15 - 0,92)}{16,15 \cdot 2} = 51,05 \text{ kN}$$

$$\text{dle (4.2)} Q_{r,d} = \gamma \cdot Q_{r,k} = 1,35 \cdot 51,05 = 68,92 \text{ kN}$$

Vodorovné příčné zatížení:

$$H_{s,k} = 15,6 \text{ kN}$$

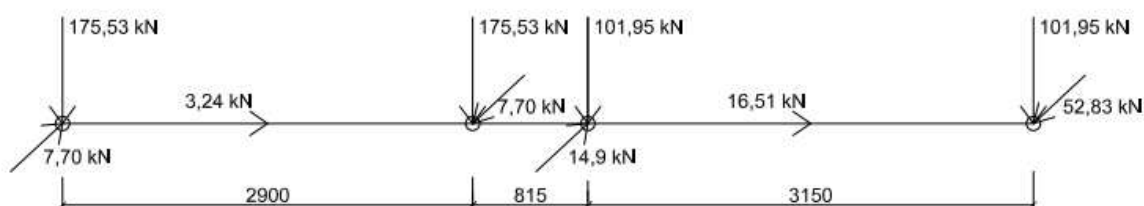
$$\text{dle (4.6) } H_{s,d} = \gamma \cdot H_{s,k} = 1,35 \cdot 15,6 = 21,06 \text{ kN}$$



Obr. 4.8 - Zatížení jeřábu nosnosti 8 t/16,15 - skupina 5

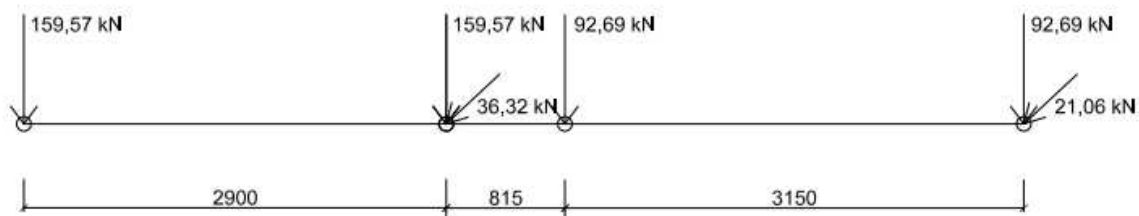
4.2.1.1.5. Spřažené jeřáby nosnosti 20+10 t

4.2.1.1.5.1. Skupina 1



Obr. 4.9 – Spřažené jeřáby 20+10 t - skupina 1

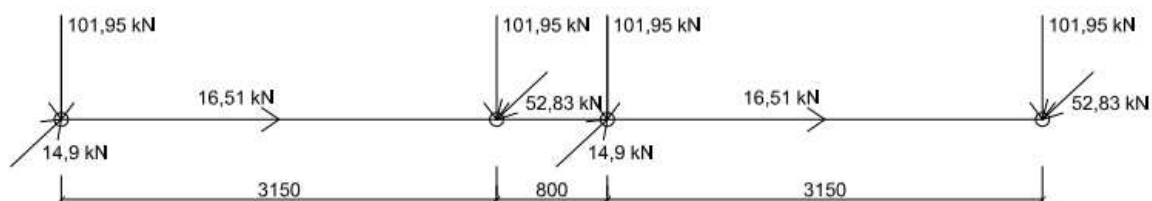
4.2.1.1.5.2. Skupina 5



Obr. 4.10 – Spřažené jeřáby 20+10 t - skupina 5

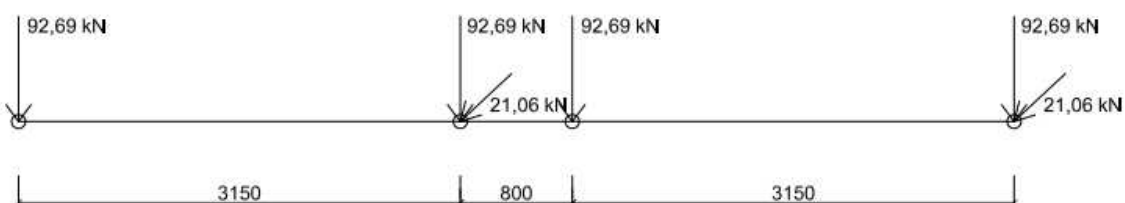
4.2.1.1.6. Spřažené jeřáby nosnosti 10+10 t

4.2.1.1.6.1. Skupina 1



Obr. 4.11 – Spřažené jeřáby 10+10 t - skupina 1

4.2.1.1.6.2. Skupina 5



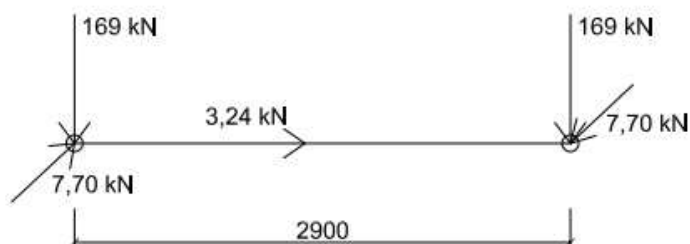
Obr. 4.12 – Spřažené jeřáby 10+10 t - skupina 5

4.2.1.2. Přístavba

Výpočet zatížení je proveden v kapitole 5.5 (posouzení jeřábové dráhy).

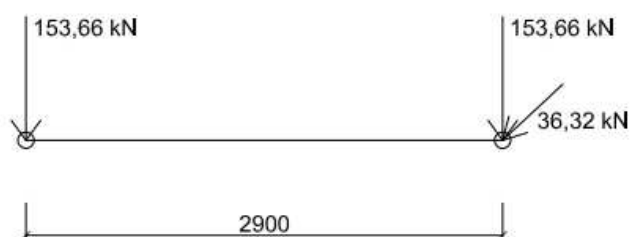
4.2.1.2.1. Jeřáb nosnosti 20 t

4.2.1.2.1.1. Skupina 1



Obr. 4.13 - Zatížení jeřábu nosnosti 20 t - přístavba - skupina 1

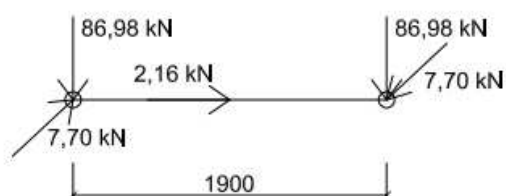
4.2.1.2.1.2. Skupina 5



Obr. 4.14 - Zatížení jeřábu nosnosti 20 t - přístavba - skupina 5

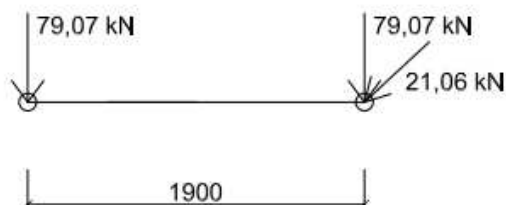
4.2.1.2.2. Jeřáb nosnosti 10 t

4.2.1.2.2.1. Skupina 1



Obr. 4.15 - Zatížení jeřábu nosnosti 10 t - přístavba - skupina 1

4.2.1.2.2.2. Skupina 5



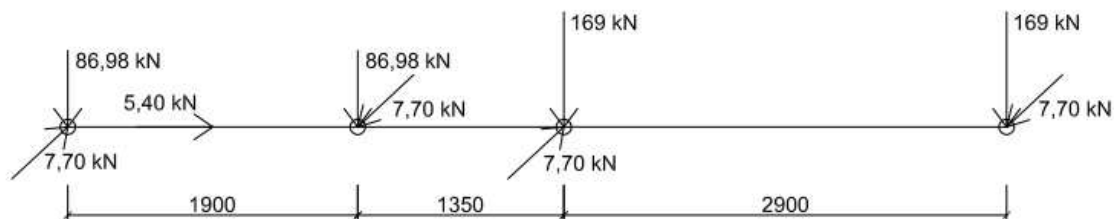
Obr. 4.16 - Zatížení jeřábu nosnosti 10 t - přístavba - skupina 5

4.2.1.2.3. Jeřáb nosnosti 5 t

Pro zatížení od jeřábu s nosností 5 t bylo využito polovičního zatížení jeřábu s nosností 10 t.

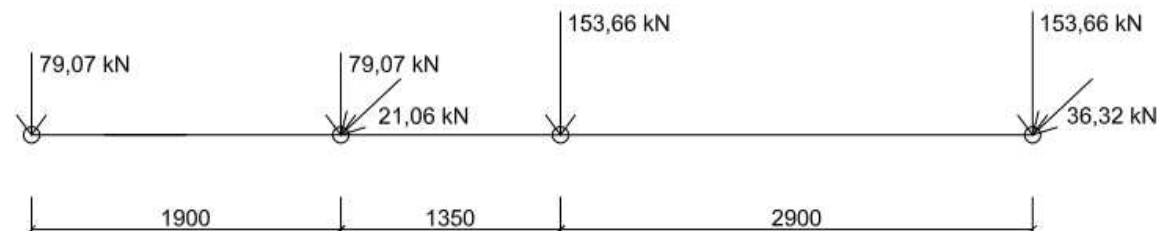
4.2.1.2.4. Spřažené jeřáby nosnosti 20+10 t

4.2.1.2.4.1. Skupina 1



Obr. 4.17 - Zatížení Spřažených jeřábů - přístavba - skupina 1

4.2.1.2.4.2. Skupina 5

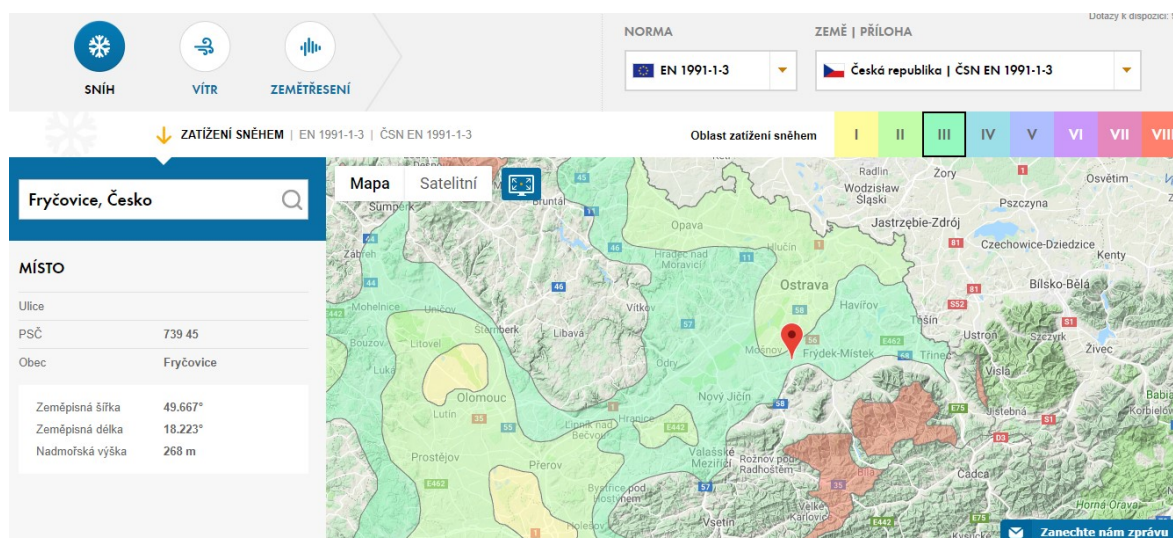


Obr. 4.18 - Zatížení Spřažených jeřábů - přístavba - skupina 5

4.3. Proměnnné zatížení - Klimatické zatížení

4.3.1. Sníh

Konstrukce výrobní haly ve Fryčovicích se dle mapy oblastí zatížení nachází ve III. oblasti zatížení sněhem.



Obr. 4.19 - Sněhová mapa

4.3.1.1. Původní hala

4.3.1.1.1. Sníh plný

Zatížení sněhem na celé ploše střechy v plném zatížení je generován v zatěžovacím stavu ZS 3.

$$S_k = \mu_1 \cdot S_k \cdot C_e \cdot C_t \quad (4.21)$$

Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

$$s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

Sklon střechy

$$\alpha = 2$$

Úhel sklonu střechy	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 (60 - \alpha) / 30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8\alpha / 30$	1,6	---

Obr. 4.20 - Tvarové součinitele sklonu střechy [7]

$$\mu_1 = 0,8$$

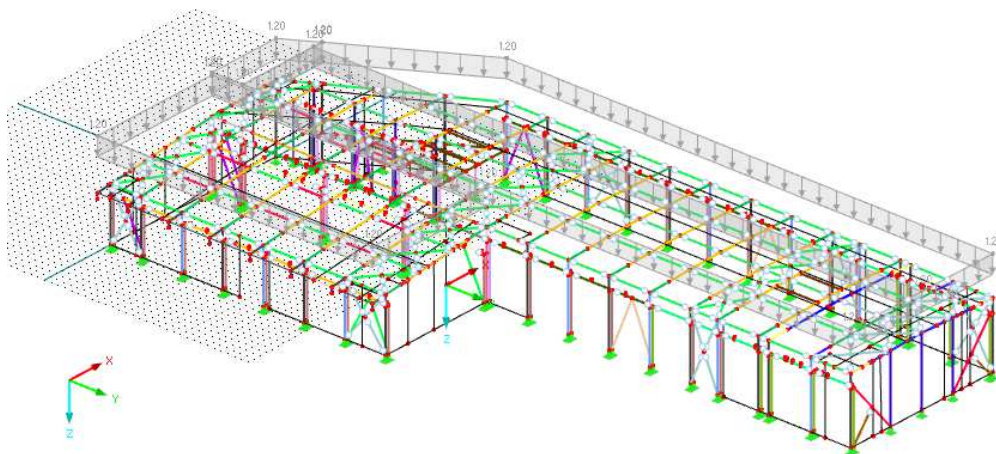
Typ krajiny	C_e
otevřená	0,8
normální	1,0
chráněná	1,2

Obr. 4.21 – Součinitel typu krajiny [7]

$$C_e = 1,0$$

Tepelný součinitel $C_t = 1,0$

$$\text{Dle (4.21) } S_k = 0,8 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$



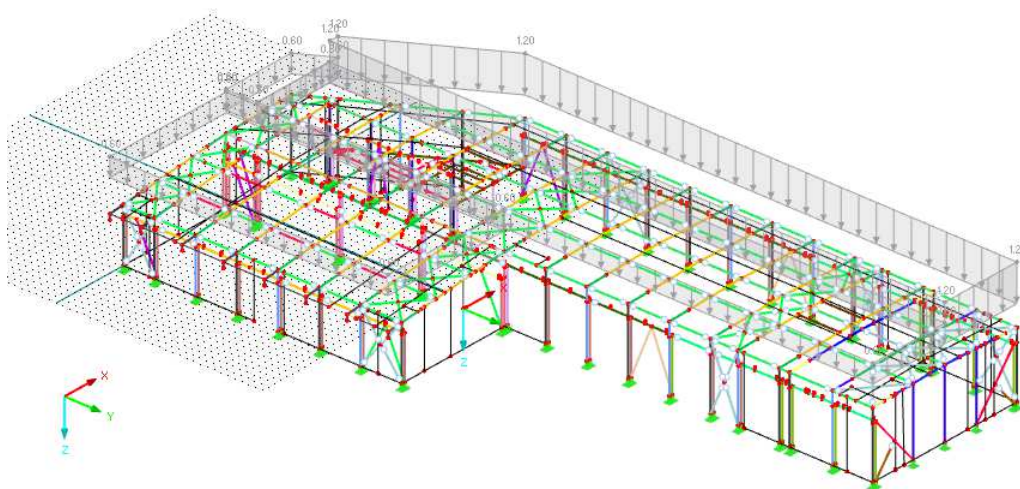
Obr. 4.22 - Zatížení sněhem - původní hala - plný sníh

4.3.1.1.2. Sníh pravý

Zatížení sněhem na polovině plochy střechy v plném zatížení a na polovině v poloviční velikosti je generován v zatěžovacím stavu ZS 4.

Pravá část = 100% plného sněhu

Levá část = 50% plného sněhu



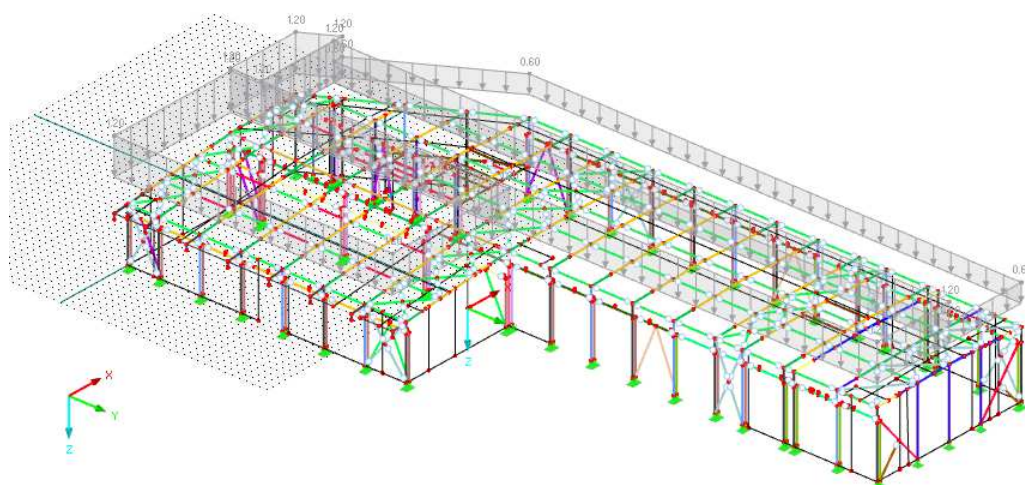
Obr. 4.23 - Zatížení sněhem - původní hala - pravý

4.3.1.1.3. Sníh levý

Zatížení sněhem na polovině plochy střechy v plném zatížení a na polovině v poloviční velikosti je generován v zatěžovacím stavu ZS 5.

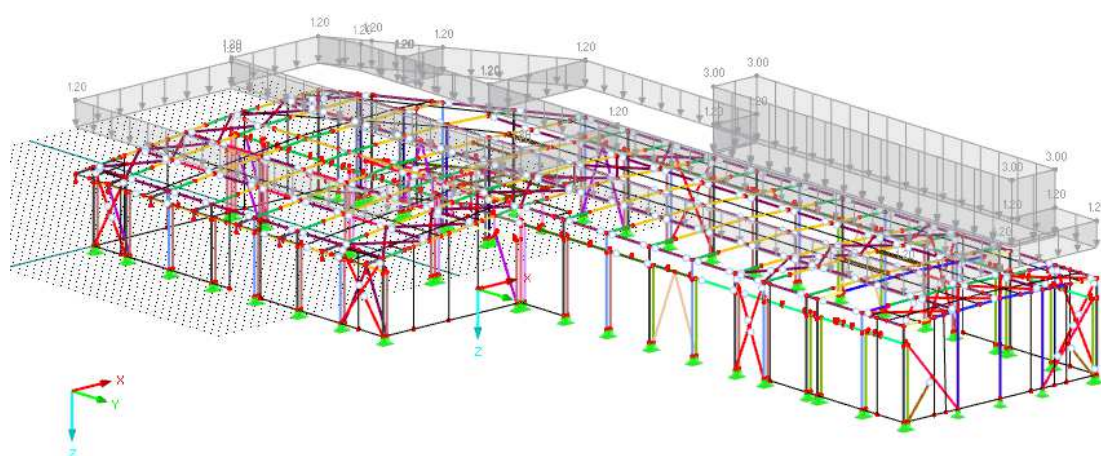
Levá část = 100% plného sněhu

Pravá část = 50% plného sněhu



Obr. 4.24 - Zatížení sněhem - původní hala - levý

4.3.1.1.4. Sníh navátý



Obr. 4.24 - Zatížení sněhem - původní hala – navátý sníh

4.3.1.2. Přístavba

4.3.1.2.1. Sníh plný

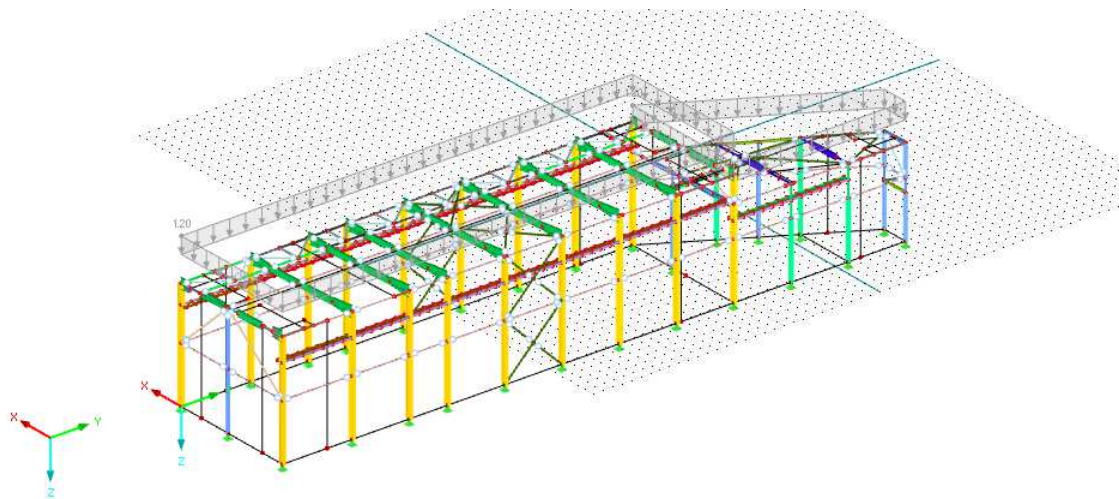
Zatížení sněhem na celé ploše střechy v plném zatížení je generováno v zatěžovacím stavu ZS 4.

$$S_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\alpha = 2$$

$$\mu_1 = 0,8$$

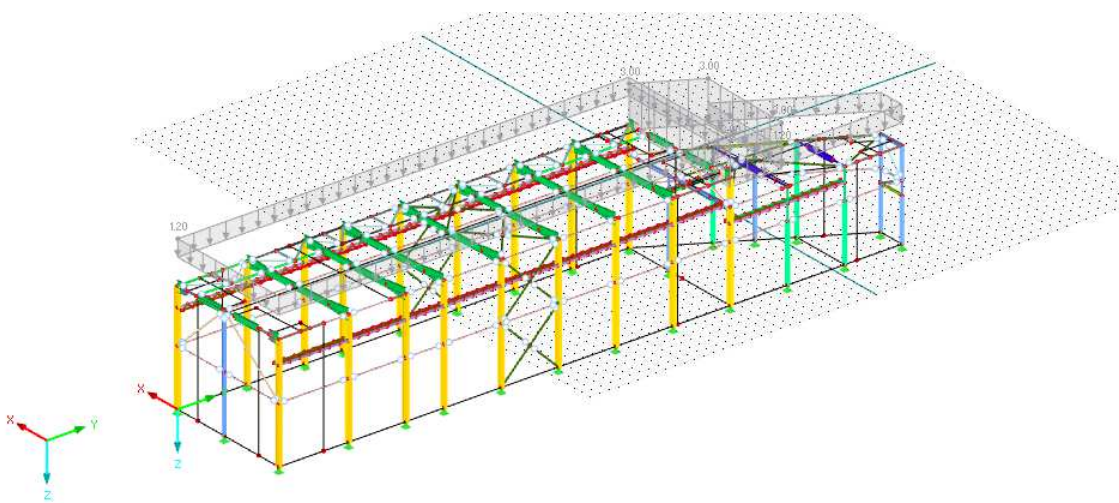
$$\text{dle (4.21) } S_k = 0,8 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 4.25 - Zatížení sněhem - nová hala - plný snůh

4.3.1.2.2. Snůh navátý

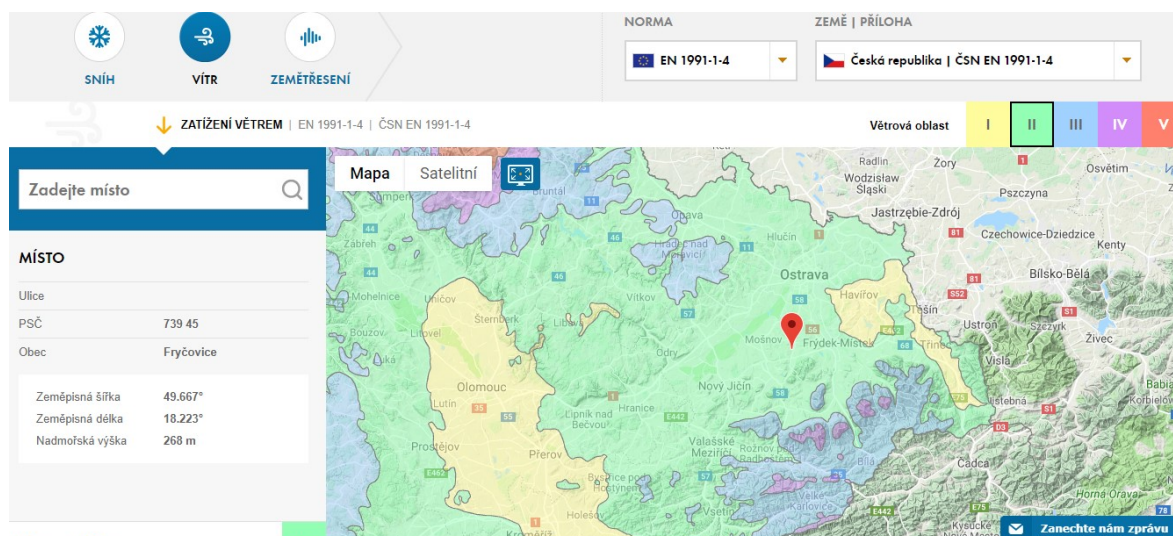
Zatížení sněhem na celé ploše střechy v plném zatížení je generováno v zatěžovacím stavu ZS 5.



Obr. 4.26 - Zatížení sněhem - původní hala - snůh navátý

4.3.2. Vítr

Dle mapy oblastí zatížení se výrobní hala nachází ve II. oblasti zatížení větrem.



Obr. 4.27 - Zatížení větrem – mapa

Větrná oblast

II.

Základní rychlost větru

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

Součinitel směru větru

$$c_{dir} = 1$$

Součinitel ročního období

$$c_{season} = 1$$

Základní rychlost větru

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 25 = 25 \text{ m/s} \quad (4.22)$$

Referenční výška

$$h = z_e = z_i$$

Kategorie terénu

III. – oblast pravidelně pokrytá vegetací, budovami nebo překážkami

Parametr drsnosti terénu

$$z_0 = 0,3 \text{ m}$$

Minimální výška

$$z_{min} = 5 \text{ m}$$

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

$$z = z_e = z_i \geq z_{min} = 5 \text{ m}$$

Součinitel terénu

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (4.23)$$

Součinitel drsnosti

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad (4.24)$$

Součinitel ortografie

$$c_0(z) = 1$$

Součinitel turbulence

$$k_I = 1$$

Hustota vzduchu

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

Charakteristická střední rychlost větru

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad (4.25)$$

Intenzita turbulence

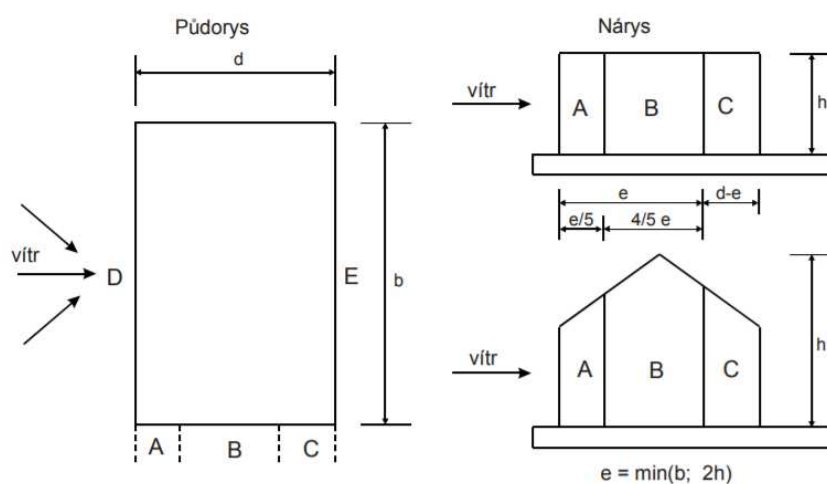
$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (4.26)$$

Maximální charakteristický dynamický tlak

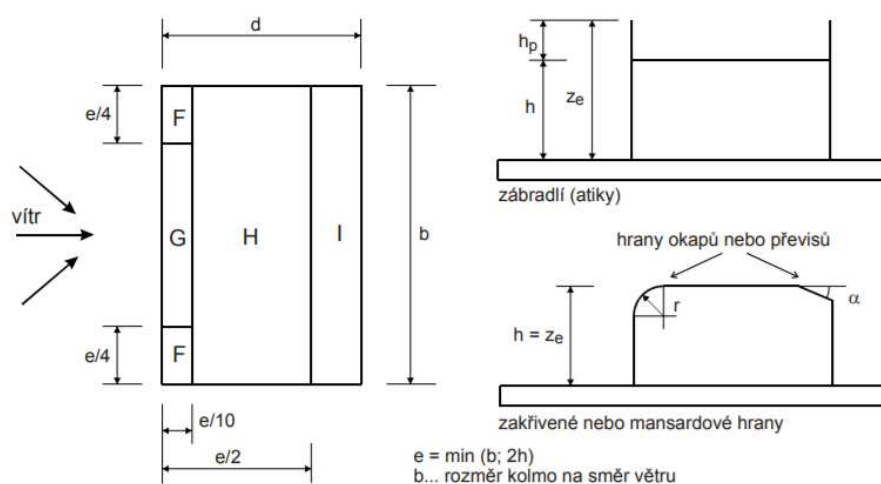
$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m(z)^2 \quad (4.27)$$

Výsledný tlak na střešní konstrukci

$$w_k = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) \quad (4.28)$$



Obr. 4.28 - Označení ploch u svislých stěn [8]



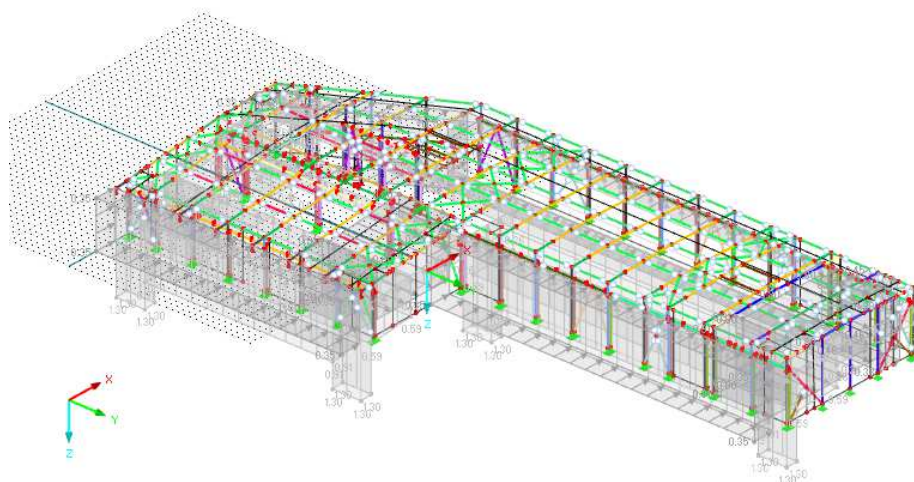
Obr. 4.29 - Označení ploch pro ploché střechy [8]

4.3.2.1. Původní hala

4.3.2.1.1. Plošné zatížení na střechu a stěny pro $C_{pi}=+0,2$

Tab. 4.4 – Zatížení větrem pro $C_{pi} = +0,2$

PŘÍČNÝ VÍTR				PODÉLNÝ VÍTR			
SVISLÉ STĚNY		STŘECHA		SVISLÉ STĚNY		STŘECHA	
OBLAS T	ZATÍŽENÍ	OBLAS T	ZATÍŽENÍ	OBLAS T	ZATÍŽENÍ	OBLAS T	ZATÍŽENÍ
A	-0,911	F	-1,301	A	-0,911	F	-1,301
B	-0,804	G	-0,911	B	-0,651	G	-0,911
C	-0,455	H	-0,586	C	-0,455	H	-0,586
D	0,351	I	-0,26	D	0,325	I	-0,26
E	-0,376			E	-0,325		

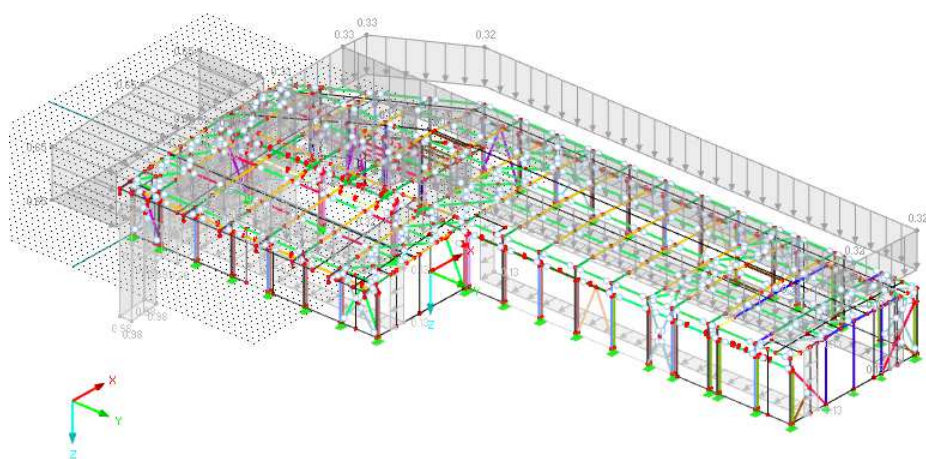


Obr. 4.30 - Zatížení větrem - původní hala - X-0,2

4.3.2.1.2. Plošné zatížení na střechu a stěny pro $C_{pi}=-0,3$

Tab. 4.5 – Zatížení větrem pro $C_{pi} = -0,3$

PŘÍČNÝ VÍTR				PODÉLNÝ VÍTR			
SVISLÉ STĚNY		STŘECHA		SVISLÉ STĚNY		STŘECHA	
OBLAS T	ZATÍŽENÍ	OBLAS T	ZATÍŽENÍ	OBLAS T	ZATÍŽENÍ	OBLAS T	ZATÍŽENÍ
A	-0,586	F	-0,976	A	-0,586	F	-0,976
B	-0,479	G	-0,586	B	-0,325	G	-0,586
C	-0,13	H	-0,26	C	-0,13	H	-0,26
D	0,676	I	0,325	D	0,651	I	0,325
E	-0,051		0,065	E	0		0,065



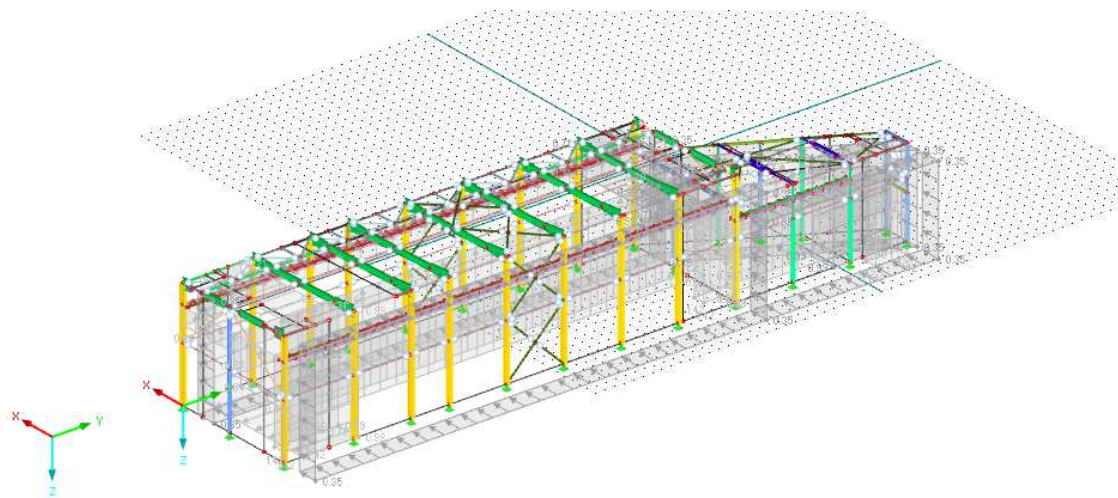
Obr. 4.31 - Zatížení větrem - původní hala - $Y+0,3$

4.3.2.2. Přístavba

4.3.2.2.1. Plošné zatížení na střechu a stěny pro $C_{pi}=+0,2$

Tab. 4.6 – Zatížení větrem na přístavbu pro $C_{pi} = +0,2$

PŘÍČNÝ VÍTR				PODÉLNÝ VÍTR			
SVISLÉ STĚNY		STŘECHA		SVISLÉ STĚNY		STŘECHA	
OBLAS T	ZATÍŽENÍ	OBLAS T	ZATÍŽENÍ	OBLAS T	ZATÍŽENÍ	OBLAS T	ZATÍŽENÍ
A	-0,992	F	-1,417	A	-0,992	F	-1,417
B	-0,709	G	-0,992	B	-1,064	G	-0,992
C	-0,496	H	-0,638	C	-0,496	H	-0,638
D	0,354	I	-0,283	D	0,413	I	-0,283
E	-0,354			E	-0,473		

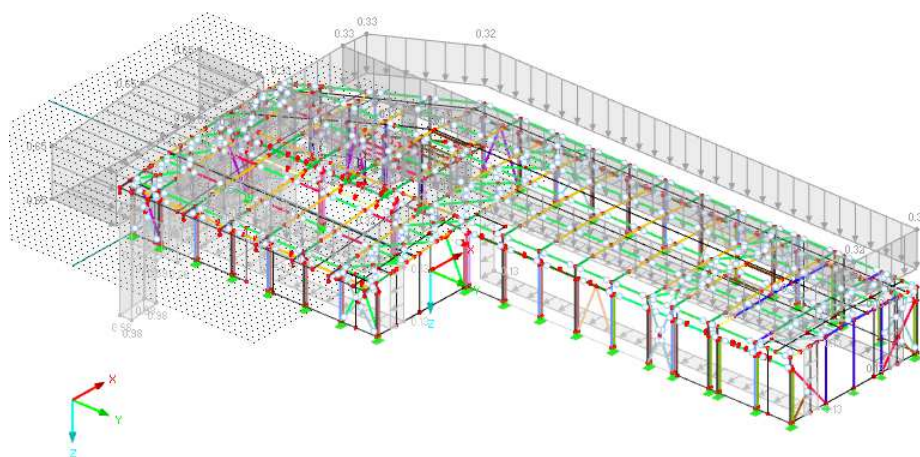


Obr. 4.32 - Zatížení větrem - přístavba hala - $X+0,2$

4.3.2.2.2. Plošné zatížení na střeche a stěny pro $C_{pi} = -0,3$

Tab. 4.7 – Zatížení větrem na přístavbu pro $C_{pi} = -0,3$

PŘÍČNÝ VÍTR				PODÉLNÝ VÍTR			
SVISLÉ STĚNY		STŘECHA		SVISLÉ STĚNY		STŘECHA	
OBLAS T	ZATÍŽENÍ	OBLAS T	ZATÍŽENÍ	OBLAS T	ZATÍŽENÍ	OBLAS T	ZATÍŽENÍ
A	-0,638	F	-1,063	A	-0,638	F	-1,063
B	-0,354	G	-0,638	B	-0,709	G	-0,638
C	-0,142	H	-0,283	C	-0,142	H	-0,283
D	0,709	I	0,253	D	0,768	I	0,354
E	0		0,071	E	-0,118		0,071



Obr. 4.33 - Zatížení větrem - přístavba - $Y+0,3$

4.4. Dynamické zatížení

4.4.1. Dynamické účinky jeřábu

Dynamické účinky jeřábu, vznikající při pohybu jeřábu a zvedání břemene, jsou zohledněny při výpočtu pomocí dynamických součinitelů.

4.4.2. Zemětřesení

Při výpočtu není s dynamickým pohybem podloží uvažováno.

4.5. Kombinace zatížení

Základní kombinaci zatížení jsou uvažována v souladu ČSN EN 1990, pro ruční výpočty: výraz (6.10):

$$1,35 G_{k,j,\text{sup}} + 1,5 Q_{k,1} + 1,5 \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (4.29)$$

5. Statický posudek vybraných prutů

Ručně budou posuzovány pouze vybrané prvky z nové haly. Zbylé prvky jsou posouzeny pomocí nadstavbového modulu pro RF-STEEL programu RFEM Dlubal. Výstupy programu jsou v příloze č. 1 pro původní halu a č. 2 pro přístavbu haly. Jeřábové dráhy původní haly jsou posouzeny v programu Craneway firmy Dlubal. Výstupy programu jsou v příloze č. 3.

5.1. Sloup HEA 600

Tab. 5.1 – Materiálové charakteristiky sloupu HEA 600

Materiálové charakteristiky			
char. mez kluzu	$f_{yk} =$	235	MPa
modul pružnosti	$E =$	210	MPa
mez pevnosti	$f_u =$	360	MPa
modul pružnosti ve smyku	$G =$	81000	MPa

Tab. 5.2 – Průřezové charakteristiky sloupu HEA 600

Průřezové charakteristiky			
plocha	$A =$	22600	mm ²
smyková plocha	$A_{vz} =$	9321	mm ²
moment setrvačnosti	$I_y =$	1412000000	mm ⁴
	$I_z =$	112700000	mm ⁴
	$I_w =$	897800000000	mm ⁶
efektivní průřezový modul	$W_{y,eff} =$	4890000	mm ³
	$W_{z,eff} =$	751000	mm ³
plastický průřezový modul	$W_{y,pl} =$	5350000	mm ³
	$W_{z,pl} =$	1156000	mm ³

Tab. 5.3 – Součinitelé spolehlivosti sloupu

Součinitelé spolehlivosti	
$\gamma_{m0} =$	1,0
$\gamma_{m1} =$	1,0
$\gamma_{m2} =$	1,25

5.1.1. Posouzení vzpěrné únosnosti

Tab. 5.4 – Vzpěrné délky sloupu

Vzpěrná délka		
$L_y =$	11728	mm
$L_z =$	5864	mm

Kritická síla

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_y^2} = 1698,2 \text{ kN} \quad (5.1)$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_z^2} = 85107,1 \text{ kN} \quad (5.2)$$

Poměrná štíhlost

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,y}}} = 1,77 \quad (5.3)$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,z}}} = 0,25 \quad (5.4)$$

Součinitel imperfekce a křivky vzpěrné pevnosti

Tab. 5.5 – Součinitel imperfekce a křivky vzpěrné pevnosti sloupu

Součinitel imperfekce	
$\alpha_y =$	0,34
$\alpha_z =$	0,21
Křivka vzpěrné pevnosti	
osa y-y	b
osa z-z	a

Vybočení

$$\emptyset_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 2,33 \quad (5.5)$$

$$\emptyset_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 0,54 \quad (5.6)$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_y = \frac{1}{\emptyset_y + \sqrt{\emptyset_y^2 - \lambda_y^2}} = 0,259882 \quad (5.7)$$

$$\chi_z = \frac{1}{\emptyset_z + \sqrt{\emptyset_z^2 - \lambda_z^2}} = 0,988975 \quad (5.8)$$

Návrhová vzpěrná únosnost prutu

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{m1}} = 1380,23 \text{ kN} \quad (5.9)$$

Posouzení vzpěrné únosnosti prutu

$$N_{ed} = 614,6 \text{ kN}$$

Tab. 5.6 – Posouzení vzpěrné únosnosti sloupu

NEd / Nb,Rd=	0,45	<	1,00
		VYHOVUJE	

5.1.2. Posouzení při klopení - příčné a torzní

Posouzení smyku

$$V_{ed} = 158 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1} \cdot \sqrt{3}} = 1264,65 \text{ kN} \quad (5.10)$$

Tab. 5.7 – Posouzení smykové únosnosti sloupu

VEd	<	Vpl,Rd
158,0	<	1264,6
VYHOVUJE - MALÝ SMYK		

Kritický moment v průřezu

Tab. 5.8 – Charakteristiky pro výpočet kritického momentu sloupu

délka nosníku při klopení	L =	5864	mm
natočení průřezu	k _z =	1,0	volné
deplanace	k _w =	1,0	volná
	C ₁ =	1,0	

Bezrozměrný parametr kroucení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{\kappa_w \cdot L \cdot \sqrt{\left(\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}\right)}} = 1,296 \quad (5.11)$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot (1 + \kappa_{wt}^2 + \sqrt{(C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2}) - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) = 1,637 \quad (5.12)$$

Kritický moment

$$M_{cr} = \frac{\mu_{cr} \cdot \pi \cdot \sqrt{(E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t)}}{L} = 2425,33 \text{ kNm} \quad (5.13)$$

Únosnost nosníku při klopení

Poměrná štíhlost

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{f_{yk} \cdot W_{y,eff}}{M_{cr}}} = 0,68 \quad (5.14)$$

Křivka klopení b

$$\alpha_{LT} = 0,34$$

Součinitel imperfekce při klopení

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - 0,4) + \frac{3}{4} \cdot \lambda_{LT}^2) = 0,72 \quad (5.15)$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \frac{3}{4} \lambda_{LT}^2}} = 0,879 \quad (5.16)$$

Součinitel redukce vlivem smykové síly

$$\rho = 0$$

Návrhový moment únosnosti při klopení

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,eff} \cdot (1 - \rho)}{\gamma_{m1} \cdot 1000000} = 989,3 \text{ kNm} \quad (5.17)$$

Posouzení únosnosti při klopení

$$M_{ed} = 367 \text{ kNm}$$

Tab. 5.9 – Posouzení únosnosti sloupu při klopení

MEd / Mb,Rd=	0,37	<	1,00
VYHOVUJE			

5.1.3. Posouzení při kombinaci ohybu, osově a smykové síly

V kapitole 5.3.3 bylo prokázáno, že smyková síla nevyčerpá únosnost průřezu z více než 50%. Pro posouzení kombinace ohybu, osově a smykové síly ji tedy můžeme zanedbat.

$$\frac{N_{ed}}{\chi_{min} \cdot N_{rd}} + \frac{M_{ed}}{\chi_{min} \cdot M_{rd}} \leq 1 \quad (5.18)$$

$$\frac{614,6}{1380,23} + \frac{340}{989,3} < 1$$

$$0,445 + 0,344 = 0,789 < 1 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

5.2. Střešní vazníky IPE600

Tab. 5.10 – Materiálové charakteristiky střešního vazníku IPE 600

Materiálové charakteristiky			
char. mez kluzu	fyk=	235	MPa
modul pružnosti	E=	210	MPa
mez pevnosti	fu=	360	MPa
modul pružnosti ve smyku	G=	81000	MPa

Tab. 5.11 – Průřezové charakteristiky střešního vazníku IPE 600

Průřezové charakteristiky			
plocha	A=	15600	mm ²
smyková plocha	Avz=	8378	mm ²
moment setrvačnosti	Iy=	920800000	mm ⁴
	Iz=	33870000	mm ⁴
	Iw=	2850000000000	mm ⁶
efektivní průřezový modul	Wy,eff=	3070000	mm ³
	Wz,eff=	308000	mm ³
plastický průřezový modul	Wy,pl=	3510000	mm ³
	Wz,pl=	486000	mm ³

Tab. 5.12 – Součinitelé spolehlivosti pro vazník

Součinitelé spolehlivosti	
γ_{m0} =	1,0
γ_{m1} =	1,0
γ_{m2} =	1,25

5.2.1. Posouzení vzpěrné únosnosti

Tab. 5.13 – Vzpěrné délky vazníku

Vzpěrná délka		
Ly=	13390	mm
Lz=	6695	mm

Kritická síla

$$\text{dle (5.1) } N_{cr,y} = 10644,45 \text{ kN}$$

$$\text{dle (5.2) } N_{cr,z} = 1566,15 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost

$$\text{dle (5.3) } \lambda_y = 0,59$$

$$\text{dle (5.4) } \lambda_z = 1,53$$

Součinitel imperfekce a křivky vzpěrné pevnosti

Tab. 5.14 – Součinitelé imperfekce a křivky vzpěrné pevnosti vazníku

Součinitel imperfekce	
$\alpha_y =$	0,21
$\alpha_z =$	0,34
Křivka vzpěrné pevnosti	
osa y-y	a
osa z-z	b

Vybočení

$$\text{dle (5.5)} \varnothing_y = 0,71$$

$$\text{dle (5.6)} \varnothing_z = 1,9$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\text{dle (5.7)} \chi_y = 0,895$$

$$\text{dle (5.8)} \chi_z = 0,331$$

Návrhová vzpěrná únosnost prutu

$$\text{dle (5.9)} N_{b,Rd} = 1215,1 \text{ kN}$$

Posouzení vzpěrné únosnosti prutu

$$N_{Ed} = 160,0 \text{ kN}$$

Tab. 5.15 – Posouzení vzpěrné únosnosti vazníku

N _{Ed} / N _{b,Rd} =	0,13	<	1,00
		VYHOVUJE	

5.2.2. Posouzení při klopení - příčné a torzní

Posouzení smyku

$$V_{Ed} = 154 \text{ kN}$$

$$\text{dle (5.10)} V_{pl,Rd} = 1136,7 \text{ kN}$$

Tab. 5.16 – Posouzení smykové únosnosti vazníku

V_{Ed}	<	V_{pl,Rd}
154,0	<	1136,7
VYHOVUJE - MALÝ SMYK		

Kritický moment v průřezu

Tab. 5.17 – Charakteristiky pro výpočet kritického momentu vazníku

délka nosníku při klopení	L=	6695	mm
natočení průřezu	kz =	1,0	volné
deplanace	k _w =	1,0	volná
	C1 =	1,0	

Bezrozměrný parametr kroucení

$$\text{dle (5.11)} \kappa_{wt} = 0,993$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\text{dle (5.12)} \mu_{cr} = 1,409$$

Kritický moment

$$\text{dle (5.13)} M_{cr} = 644,76 \text{ kNm}$$

Únosnost nosníku při klopení

Poměrná štíhlost

$$\text{dle (5.14)} \lambda_{LT} = 1,06$$

Křivka klopení a

$$\alpha_{LT} = 0,34$$

Součinitel imperfekce při klopení

$$\text{dle (5.15)} \Phi_{LT} = 1,03$$

Součinitel klopení

$$\text{dle (5.16)} \chi_{LT} = 0,664$$

Součinitel redukce vlivem smykové síly

$$\rho = 0$$

Návrhový moment únosnosti při klopení

$$\text{dle (5.17)} M_{b,Rd} = 479,2 \text{ kNm}$$

Posouzení únosnosti při klopení

$$M_{Ed} = 367 \text{ kNm}$$

Tab. 5.18 – Posouzení únosnosti vazníku při klopení

$M_{Ed} / M_{b,Rd} =$	0,77	<	1,00
VYHOVUJE			

5.3. Zavětrování

Tab. 5.19 – Materiálové charakteristiky zavětrování

Materiálové charakteristiky			
char. mez kluzu	$f_{yk} =$	235	MPa
modul pružnosti	$E =$	210	MPa
mez pevnosti	$f_u =$	360	MPa
modul pružnosti ve smyku	$G =$	81000	MPa

Tab. 5.20 – Průřezové charakteristiky zavětrování

Průřezové charakteristiky			
plocha	$A =$	2560	mm ²
moment setrvačnosti	$I_y =$	8510000	mm ⁴
	$I_z =$	8510000	mm ⁴

Tab. 5.21 – Součinitelé spolehlivosti zavětrování

Součinitelé spolehlivosti	
$\gamma_{m0} =$	1,0
$\gamma_{m1} =$	1,0
$\gamma_{m2} =$	1,25

5.3.1. Posouzení vzpěrné únosnosti

Tab. 5.22 – Vzpěrné délky zavětrování

Vzpěrná délka		
$L_y =$	11728	mm
$L_z =$	5864	mm

Kritická síla

$$\text{dle (5.1) } N_{cr,y} = 249,97 \text{ kN}$$

$$\text{dle (5.2) } N_{cr,z} = 249,97 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost

$$\text{dle (5.3) } \lambda_y = 1,55$$

$$\text{dle (5.4) } \lambda_z = 1,55$$

Součinitel imperfekce a křivky vzpěrné pevnosti

Tab. 5.23 – Součinitelé imperfekce a křivky vzpěrné pevnosti zavětrování

Součinitel imperfekce	
$\alpha_y =$	0,21
$\alpha_z =$	0,21
Křivka vzpěrné pevnosti	
osa y-y	a
osa z-z	a

Vybočení

$$\text{dle (5.5) } \varnothing_y = 1,85$$

$$\text{dle (5.6) } \varnothing_z = 1,85$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\text{dle (5.7) } \chi_y = 0,352$$

$$\text{dle (5.8) } \chi_z = 0,352$$

Návrhová vzpěrná únosnost prutu

$$\text{dle (5.9) } N_{b,Rd} = 211,5 \text{ kN}$$

Posouzení vzpěrné únosnosti

$$N_{Ed} = 58 \text{ kN}$$

Tab. 5.24 – Posouzení vzpěrné únosnosti zavětrování

$N_{Ed} / N_{b,Rd} =$	0,27	<	1,00
		VYHOVUJE	

5.4. Jeřábová dráha

5.4.1. Nosník HEB 450

5.4.1.1. Průřezové charakteristiky

Tab. 5.25 – Průřezové charakteristiky nosníku

PRŮŘEZOVÁ CHAR.	HODNOTA	JEDNOTKA
A	21800	mm ²
I _y	117200000	mm ⁴
I _z	798900000	mm ⁴
W _y	781000	mm ³
W _z	3550000	mm ³
I _w	5258000000000	mm ⁶

5.4.1.2. Zatřídění průřezu

5.4.1.2.1. Pásy

$$\frac{c}{t_f} = \frac{(300 - 14)/2}{26} = \frac{143}{26} = 5,5 \leq 9\varepsilon = 9 \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = 9 \sqrt{\frac{235}{235}} = 9$$

$$5,5 < 9 \Rightarrow \text{třída 1}$$

Přesto řešíme pružně.

5.4.1.2.2. Stojina

$$\frac{c}{t_w} = \frac{(450 - 2 \cdot 26)}{14} = \frac{398}{14} = 28,4 \leq 72\varepsilon = 72 \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = 72 \sqrt{\frac{235}{235}} = 72$$

$$28,4 < 72 \Rightarrow \text{třída 1}$$

Přesto řešíme pružně.

5.4.2. Jeřáby

Tab. 5.26 –Technické podklady jeřábů v přístavbě

	JEŘÁB 20 T	JEŘÁB 10 T
ROZVOR KOL a (m)	2,9	1,9
HM. KOČKY (kg)	1956	724
HM. JEŘÁB (kg)	5404	3486
SKUPINA	S3	S3

Tab. 5.27 – Dynamické součinitele jeřábů v přístavbě

SOUČINITEL	JEŘÁB 20 T	JEŘÁB 10 T
φ_1	1,10	1,10
φ_2	1,10	1,10
φ_3	1,00	1,00
φ_4	1,00	1,00
φ_5	1,80	1,80
φ_{6a}	1,05	1,05
φ_{6b}	1,00	1,00
φ_7	1,23	1,23

5.4.2.1. Zatížení

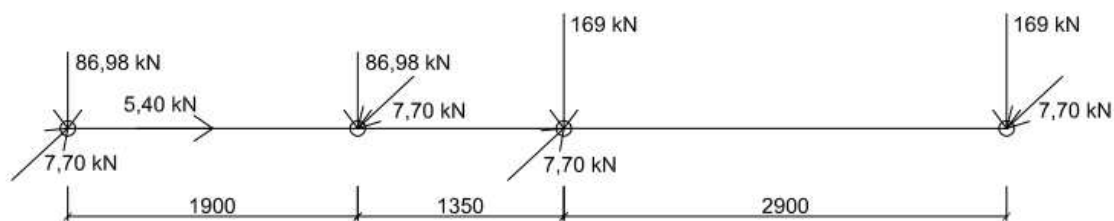
Tab. 5.28 – Zatížení od jeřábu v přístavbě

ZATÍŽENÍ KOLA	JEŘÁB 20 T	JEŘÁB 10 T
SVISLÉ	kN	kN
Qr,min	14,4	8,9
Qr,(min)	21,5	11,8
Qr,max	8,5	3,5
Qr,(max)	90,1	45,8
BOČNÍ		
Ht,1	1,1	1,2
Ht,2	5,7	5,7
S	32,4	19
Hs,min	5,5	3,4
Hs,max	26,9	15,6
PODÉLNÉ		
HI,k	2,4	1,6
HB1	20,3	15,4

5.4.2.2. Zatížení od spřažených jeřábů

Tab. 5.29 – Zatížení od spřažených jeřábů v přístavbě

	JEŘÁB 20 T	JEŘÁB 20 T	JEŘÁB 10 T	JEŘÁB 10 T
	CHAR.	NÁVRHOVÉ	CHAR.	NÁVRHOVÉ
	kN			
SKUPINA 1				
Qr	125,00	169,00	64,43	86,98
Ht,2	5,70	7,70	5,70	7,70
HI	2,40	3,24	1,60	2,16
SKUPINA 5				
Qr	113,82	153,66	58,57	79,07
Hs	26,90	36,32	15,60	21,06



Obr. 5.1 - Zatížení spřažených jeřábů

5.4.3. Hlavní nosník

5.4.3.1. Vnitřní síly

5.4.3.1.1. Svislé zatížení od vlastní tíhy nosníku

Vlastní tíha hlavního nosníku

$$g_1 = A \cdot 78,5 \cdot 10^{-3} = 1,71 \text{ kN/m} \quad (5.19)$$

Vlastní tíha vodorovného nosníku - odhad

$$g_2 = 1,0 \text{ kN/m}$$

Vlastní tíha kolejnice

$$g_3 = \frac{50 \cdot 60}{1000} \cdot 78,5 \cdot 10^{-3} = 0,236 \text{ kN/m}$$

Celkem

$$g_k = g_1 + g_2 + g_3 = 1,71 + 1 + 0,236 = 2,946 \text{ kN/m} \quad (5.20)$$

$$g_d = g_k \cdot \gamma_m = 2,946 \cdot 1,35 = 3,977 \text{ kN/m} \quad (5.21)$$

Vnitřní síly

$$A_{g,Ed} = \frac{g_d \cdot L}{2} = \frac{3,977 \cdot 6}{2} = 11,931 \text{ kN} \quad (5.22)$$

$$\begin{aligned} M_{g,Ed} &= A_{g,Ed} \cdot 3,358 - \frac{g_d \cdot 3,358^2}{2} \\ &= 11,931 \cdot 3,358 - \frac{3,977 \cdot 3,358^2}{2} = 17,64 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (5.23)$$

5.4.3.1.2. Svislé zatížení od jeřábů

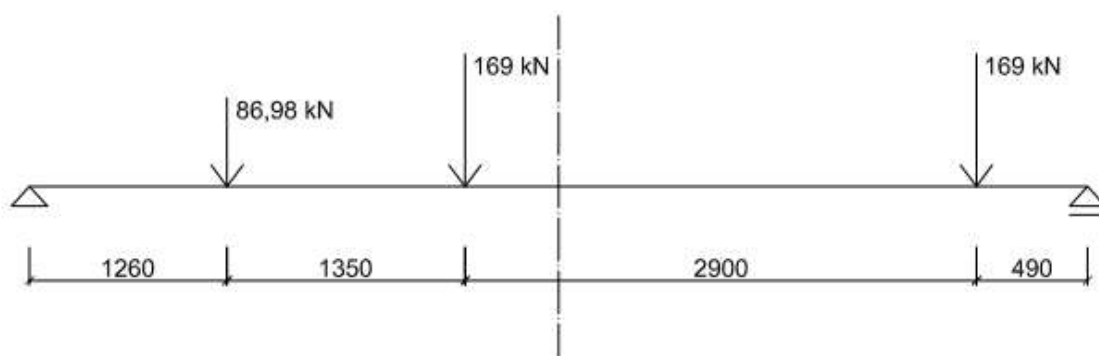
5.4.3.1.2.1. Postavení M_{max}

Pro určení umístění skupiny sil na nosník bylo využito Břemenové, Winklerovo a Šolínovo kritérium. Pomocí kritérií bylo nalezeno umístění sil na nosníku pro vyvolání maximálního ohybového momentu.

$$R = 2 \cdot 86,98 + 2 \cdot 169 = 511,96 \text{ kN}$$

$$r = -\frac{1}{R} \cdot \sum P_i \cdot d_i \quad (5.24)$$

$$r = -\frac{1}{511,96} \cdot (86,98 \cdot (1,9 + 1,35) + (86,98 \cdot 1,35)) = 0,78 \text{ m}$$



Obr. 5.2 - Zatížení spřažených jeřábů - postavení M_{max}

$$\sum M_{ia} = 0:$$

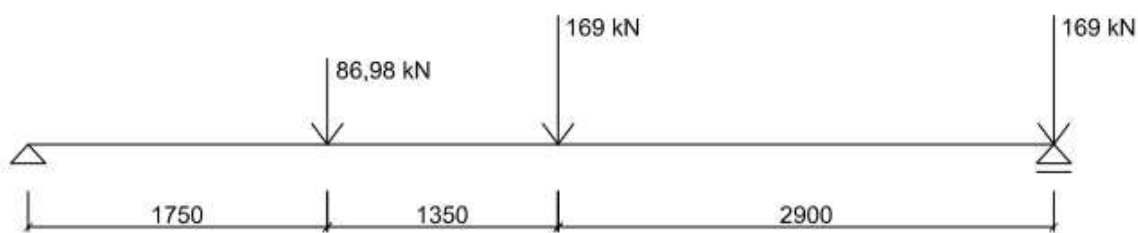
$$R_b \cdot 6 - 169 \cdot 5,51 - 169 \cdot 2,61 - 86,98 \cdot 1,26 = 0$$

$$R_b = 247 \text{ kN}$$

$$R_a = (R - 86,98) - R_b = 424,98 - 247 = 177,98 \text{ kN}$$

$$M_{max} = R_a \cdot 2,47 - 86,98 \cdot 1,35 = 347,1 \text{ kNm}$$

5.4.3.1.2.2. Postavení Amax



Obr. 5.3 - Zatížení spřažených jeřábů - postavení A_{max}

$$\sum M_{ia} = 0:$$

$$R_b \cdot 6 - 169 \cdot 6 - 169 \cdot 3,1 - 86,98 \cdot 1,75 = 0$$

$$R_b = 281,7 \text{ kN}$$

$$R_a = (R - 86,98) - R_b = 424,98 - 281,7 = 143,28 \text{ kN}$$

$$A_{max} = R_b = 281,7 \text{ kN}$$

5.4.3.1.3. Vodorovné zatížení

$$H_{L,d} = 2,14 + 3,24 = 5,38 \text{ kN}$$

$$e = 450 + 50 = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

$$A_{H_{L,d}} = \frac{H_{L,d} \cdot e}{L} = \frac{5,38 \cdot 0,5}{6} = 0,45 \text{ kN} \quad (5.25)$$

$$M_{H_{L,d}} = A_{H_{L,d}} \cdot 3,358 = 0,45 \cdot 3,358 = 1,679 \text{ kNm} \quad (5.26)$$

5.4.3.1.4. Zatížení od příčné podélné síly

$$H_{T,2,d} = 7,7 \text{ kN}$$

Síly uvažovány v poloze vyvolávající M_{max} od svislého zatížení jeřábu.

$$\sum M_{ia} = 0:$$

$$R_b \cdot 6 - 7,7 \cdot 5,51 + 7,7 \cdot 2,61 - 7,7 \cdot 1,26 = 0$$

$$R_b = 12,04 \text{ kN}$$

$$R_a = 11,06 \text{ kN}$$

Přidružený ohybový moment

$$M = R_b \cdot 3 - H_{T,2,d} \cdot 2,61 = 16,02 \text{ kNm} \quad (5.27)$$

Vnitřní síly

$$N = \frac{M}{0,595} = \frac{16,02}{0,595} = 26,92 \text{ kN} \quad (5.28)$$

$$M_z = 0,8 \cdot \frac{H_{T,2,d} \cdot a}{4} = 0,8 \cdot \frac{7,7 \cdot 1}{4} = 1,54 \text{ kNm} \quad (5.29)$$

5.4.3.2. Posouzení nosníku MSÚ

5.4.3.2.1. Boulení od ohybu pásnic

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \cdot \frac{E}{f_{yf}} \cdot \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}} \quad (5.30)$$

$$\frac{450 - 2 \cdot 26}{14} \leq 0,3 \cdot \frac{210000}{235} \cdot \sqrt{\frac{(450 - 2 \cdot 26) \cdot 14}{300 \cdot 26}}$$

$$28,4 < 191,5 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Stojina průřezu zabezpečuje dostatečné podepření tlačným pásnicím. Nedojde ke vtlačení pásnice do průřezu ohýbaného prutu.

5.4.3.2.2. Smyk - postavení vyvolávající A_{max}

$$V_{z,Ed} = A_{max} + A_{g,Ed} + A_{H_{L,d}} \quad (5.31)$$

$$V_{z,Ed} = 281,7 + 11,931 + 0,45 = 294 \text{ kN}$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{(450 - 2 \cdot 26)}{14} = 28,4 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1} = 72 \quad (5.32)$$

$28,4 < 72 \Rightarrow$ Nemusí se zahrnout boulení

$$A_v = h_w \cdot t_w = (450 - 2 \cdot 26) \cdot 14 = 5572 \text{ mm}^2 \quad (5.33)$$

$$\text{dle (5.10)} \quad V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yf}}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 755,994 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} \geq V_{z,Ed}$$

$$755,994 \text{ kN} > 294 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

5.4.3.2.3. Smyk - postavení vyvolávající M_{max}

$$V_{z,Ed} = A_{M_{max}} + A_{g,Ed} + A_{H_{L,d}} \quad (5.34)$$

$$V_{z,Ed} = 247 + 11,931 + 0,45 = 259,4 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{259,4}{755,994} = 0,343 < 0,5 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Vliv smyku na únosnost při působení ohybu a osově síly lze zanedbat.

5.4.3.2.4. Ztráta stability klopením**5.4.3.2.5. Ztráta stability celého průřezu vzpěrným vybočením**

$$L_z = 1000 \text{ mm}$$

$$L_y = 6000 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = L_z \cdot \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 1000 \cdot \sqrt{\frac{21800}{11,72 \cdot 10^6}} = 43,13 \quad (5.35)$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{43,13}{93,9} = 0,459 > 0,2 \quad (5.36)$$

\Rightarrow Účinky vzpěru nelze zanedbat

Křivka vzpěrné únosnosti - c

$$\kappa_z = 0,875$$

$$\lambda_y = L_y \cdot \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 6000 \cdot \sqrt{\frac{21800}{798,9 \cdot 10^6}} = 31,34 \quad (5.37)$$

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{31,34}{93,9} = 0,334 > 0,2 \quad (5.38)$$

\Rightarrow Účinky vzpěru nelze zanedbat

Křivka vzpěrné únosnosti - b

$$\kappa_z = 0,950$$

5.4.3.2.6. Ztráta stability pásu vodorovného nosníku

$$A_p = 300 \cdot 26 + 210 \cdot 14 = 10740 \text{ mm}^2$$

$$I_{z,p} = \frac{1}{12} \cdot (210 \cdot 14^3 + 26 \cdot 300^3) = 58,548 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_{z,p} = \sqrt{\frac{I_{z,p}}{A_p}} = \sqrt{\frac{58,548 \cdot 10^6}{10740}} = 73,8 \text{ mm} \quad (5.39)$$

$$W_{z,p} = \frac{1}{6} \cdot (210 \cdot 14^2 + 26 \cdot 300^2) = 396860 \text{ mm}^3 \quad (5.40)$$

$$L_z = 1000 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{L_z}{i_{z,p}} = \frac{1000}{73,8} = 13,55 \quad (5.41)$$

$$\text{dle (5.36) } \overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{13,55}{93,9} = 0,144 > 0,2 \Rightarrow \text{Účinky vzpěru lze zanedbat}$$

5.4.3.2.7. Podélné normálové napětí na horní pásnici

Napětí od stálého zatížení:

$$M_{g,y,Ed} = 17,64 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{x_{g,Ed}} = \frac{M_{g,y,Ed}}{W_y} = \frac{17,64 \cdot 10^6}{3,55 \cdot 10^6} = 4,97 \text{ MPa} \quad (5.42)$$

Napětí od svislého zatížení od kol jeřábu Q_r :

$$M_{Q_r,y,Ed} = 347,1 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{x_{Q_r,Ed}} = \frac{M_{Q_r,y,Ed}}{W_y} = \frac{347,110 \cdot 10^6}{3,55 \cdot 10^6} = 97,77 \text{ MPa} \quad (5.43)$$

Napětí od vodorovného podélné síly $H_{L,d}$:

$$N_{H_{L,d}} = H_{L,d} = 2,16 + 3,24 = 5,4 \text{ kN}$$

$$M_{H_{L,d}} = 1,7 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{x_{H_{L,d}}} = \frac{N_{H_{L,d}}}{\kappa \cdot A} + \frac{M_{H_{L,d}}}{W_y} \quad (5.44)$$

$$\sigma_{x_{H_{L,d}}} = \frac{5,4 \cdot 10^3}{0,875 \cdot 21800} + \frac{1,7 \cdot 10^6}{3,55 \cdot 10^6} = 0,76 \text{ MPa}$$

Napětí od vodorovných příčných sil $H_{T,2,d}$:

$$N_{H_{T,2,d}} = 26,92 \text{ kN}$$

$$M_{H_{T,2,d}} = 1,54 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{x_{H_{T,2,d}}} = \frac{N_{H_{T,2,d}}}{\kappa \cdot A_p} + \frac{M_{H_{T,2,d}}}{W_{zmp}} \quad (5.45)$$

$$\sigma_{x_{H_{T,2,d}}} = \frac{26,92 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 10740} + \frac{1,54 \cdot 10^6}{396860} = 6,39 \text{ MPa}$$

Celkové napětí:

$$\sigma_{x,Ed} = 4,97 + 97,77 + 0,76 + 6,39 = 109,89 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\sigma_{x,Ed} \geq \frac{f_{yf}}{\gamma_{M1}}$$

$$109,89 \text{ MPa} > \frac{235}{1,0} = 235 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

5.4.3.2.8. Únosnost v lokálním boulení

Účinná roznášecí délka l_{eff} :

$$t_r = 50 \text{ mm}$$

$$0,25 \cdot t_r = 0,25 \cdot 50 = 12,5 \text{ mm}$$

$$I_r = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 60 \cdot 12,5^3 = 9765,625 \text{ mm}^4 \quad (5.46)$$

$$b_{eff} = b_{fr} + h_r + t_f = 60 + 50 + 26 = 136 \text{ mm} \quad (5.47)$$

$$b_{eff} \leq b$$

$$136 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \Rightarrow b_{eff} = 136 \text{ mm}$$

$$I_{f,eff} = \frac{1}{12} \cdot b_{eff} \cdot t_f^3 = \frac{1}{12} \cdot 136 \cdot 26^3 = 199\,195 \text{ mm}^4 \quad (5.48)$$

$$l_{eff} = 3,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{I_r + I_{f,eff}}{t_w}} \quad (5.49)$$

$$l_{eff} = 3,25 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{263672 + 199195}{26}\right)} = 84,86 \text{ mm}$$

$$s_s = l_{eff} - 2 \cdot t_f = 84,86 - 2 \cdot 26 = 32,86 \text{ mm} \quad (5.50)$$

Účinná zatížená délka l_y - typ A:

$$l_y = s_s + roznos = s_s + 2 \cdot s_s \cdot (1 + \sqrt{(m_1 + m_2)}) \quad (5.51)$$

$$m_1 = \frac{f_{yf} \cdot b_f}{f_{yw} \cdot t_w} = \frac{235 \cdot 300}{235 \cdot 14} = 21,43 \quad (5.52)$$

$$m_2 = 0 \Rightarrow \text{konzervativní}$$

$$l_y = 32,86 + 2 \cdot 26 \cdot (1 + \sqrt{21,43 + 0}) = 325,58 \text{ mm}$$

Součinitel lokálního boulení κ_F :

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{h_w} \quad (5.53)$$

$$F_{cr} = 0,9 \cdot 6 \cdot 210000 \cdot \frac{14^3}{450 - 2 \cdot 26} = 7818,332 \text{ kN}$$

$$k_F = 6 + 2 \cdot \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 = 6 + 2 \cdot \left(\frac{450 - 2 \cdot 26}{2000}\right)^2 = 6 \quad (5.54)$$

$$a = \frac{L}{3} = \frac{6000}{3} = 2000 \text{ mm} = 2 \text{ m}$$

$$\overline{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y \cdot t_w \cdot f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{325,58 \cdot 14 \cdot 235}{7818332}} = 0,37 \quad (5.55)$$

$$\kappa_F = \frac{0,5}{\overline{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,37} = 1,35$$

$$\kappa_F \leq 1,0$$

$$1,35 > 1,0 \Rightarrow \kappa_F = 1,0$$

Návrhová únosnost v lokálním boulení F_{Rd} :

$$L_{eff} = \kappa_F \cdot l_y = 1,0 \cdot 325,58 = 325,58 \text{ mm} \quad (5.56)$$

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} \cdot L_{eff} \cdot t_w}{\gamma_{M1}} \quad (5.57)$$

$$F_{Rd} = \frac{235 \cdot 325,58 \cdot 14}{1,0} \cdot 10^3 = 1071 \text{ kN}$$

Posouzení

$$F_{Rd} \geq F_{Ed}$$

$$1071 \text{ kN} > 169 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

5.4.3.2.9. Rovinné namáhání ve stěně nosníku - postavení M_{max}

Lokální napětí od kolových zatížení na horní pásnici:

$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{l_{eff} \cdot t_w} = \frac{169 \cdot 10^3}{65,1 \cdot 14} = 185,4 \text{ MPa} \quad (5.58)$$

$$\tau_{oxz,Ed} = 0,2 \cdot \sigma_{oz,Ed} = 0,2 \cdot 185,4 = 37,08 \text{ MPa} \quad (5.59)$$

Návrhové podélné normálové napětí:

$$\sigma_{xg,Ed} = \frac{M_{g,y,Ed}}{W_y} = \frac{17,64 \cdot 10^6}{3,55 \cdot 10^6} = 4,97 \text{ MPa} \quad (5.60)$$

$$\sigma_{xQr,Ed} = \frac{M_{Qr,Ed}}{W_y} = \frac{347,1 \cdot 10^6}{3,55 \cdot 10^6} = 97,77 \text{ MPa} \quad (5.61)$$

$$\sigma_{xHL,Ed} = \frac{N_{HL,d}}{\kappa \cdot A} + \frac{M_{HL,d}}{W_y} \quad (5.62)$$

$$\sigma_{xHL,Ed} = \frac{5,4 \cdot 10^3}{0,875 \cdot 21800} + \frac{1,7 \cdot 10^6}{3,55 \cdot 10^6} = 0,28 + 0,48 = 0,76 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{xHT,2,d} = \frac{N_{HT,2,d}}{\kappa \cdot A_p} = \frac{26,92 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 10740} = 2,5 \text{ MPa} \quad (5.63)$$

Návrhové smykové napětí od posouvající síly:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{z,Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} \quad (5.64)$$

$$\tau_{Ed} = \frac{247 \cdot 10^3 \cdot 300 \cdot 26 \cdot 212}{798,9 \cdot 10^6 \cdot 14} = 36,5 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\sigma_{x,Ed} = 4,97 + 97,77 + 0,76 + 2,5 = 106 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,Ed} = 185,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = 37,08 + 36,5 = 73,58 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y}\right) + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y}\right)^2 \leq 1$$

$$\left(\frac{106}{235}\right)^2 + \left(\frac{185,4}{235}\right)^2 - \left(\frac{106}{235}\right) \cdot \left(\frac{185,4}{235}\right) + 3 \cdot \left(\frac{73,58}{235}\right)^2 \leq 1$$

$$0,76 < 1 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

5.4.3.2.10. Rovinné namáhání ve stěně nosníku - postavení A_{max}

Lokální napětí od kolových zatížení na horní pásnici

$$\text{dle (5.58)} \sigma_{oz,Ed} = \frac{169 \cdot 10^3}{84,86 \cdot 14} = 142,25 \text{ MPa}$$

$$\text{dle (5.59)} \tau_{oxz,Ed} = 0,2 \cdot 142,25 = 28,45 \text{ MPa}$$

Návrhové podélné normálové napětí

$$\sigma_{x,Ed} = 0 \text{ MPa}$$

Návrhové smykové napětí od posouvající síly

$$V_{z,Ed} = 281,7 + 0,45 + 11,939 = 294 \text{ kN}$$

$$\text{dle (5.64)} \tau_{Ed} = \frac{V_{z,Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{294 \cdot 10^3 \cdot 300 \cdot 26 \cdot 212}{798,9 \cdot 10^6 \cdot 14} = 43,48 \text{ MPa}$$

Posouzení

$$\sigma_{x,Ed} = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,Ed} = 142,25 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = 28,45 + 43,48 = 71,93 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}\right) + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}\right)^2 \leq 1$$

$$\left(\frac{0}{\frac{235}{1,0}}\right)^2 + \left(\frac{142,25}{\frac{235}{1,0}}\right)^2 - \left(\frac{0}{\frac{235}{1,0}}\right) \cdot \left(\frac{142,25}{\frac{235}{1,0}}\right) + 3 \cdot \left(\frac{71,93}{\frac{235}{1,0}}\right)^2 \leq 1$$

$$0,65 < 1 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

5.4.3.2.11. Posouzení příčných výztuh

Vnitřní příčné výztuhy

- Smyková únosnost svislého nosníku není ovlivněna smykovým boulením - dostatečná únosnost bez výztuh.

Koncové příčné výztuhy

Navrženo jako netuhé výztuhy.

$$A_{st} = 14 \cdot (15 \cdot 14 + 14) + 14 \cdot 200 = 5936 \text{ mm}^2$$

$$I_{st} = \frac{1}{12} \cdot 14 \cdot 224^3 + \frac{1}{12} \cdot 210 \cdot 13^3 = 13,16 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\text{dle (5.39)} \ i_{st} = \sqrt{\frac{I_{st}}{A_{st}}} = \sqrt{\frac{13,16 \cdot 10^6}{5936}} = 47,08 \text{ mm} = 47,1 \text{ mm}$$

Posouzení tuhosti výztuh

$$\frac{a}{h_w} = \frac{6000}{545} = 11 > \sqrt{2} = 1,4 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

$$I_{st} \leq 0,75 \cdot h_w \cdot t_w^3 = 0,75 \cdot (450 - 2 \cdot 26) \cdot 14^3 = 0,819 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$13,16 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 > 0,819 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení únosnosti výztuh

$$L_{cr} = 0,75 \cdot h_w = 0,75 \cdot (450 - 2 \cdot 26) = 298,5 \text{ mm}$$

$$\text{dle (5.41)} \ \lambda = \frac{L_{cr}}{i_{st}} = \frac{298,5}{47,1} = 6,34 \leq 20 \Rightarrow \kappa = 1,0$$

$$\text{dle (5.9)} \ N_{b,Rd} = \frac{\kappa \cdot A_{st} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 5936 \cdot 235}{1,0} = 1394,96 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq V_{z,Ed}$$

$$1394,96 \text{ kN} > 191,19 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

5.4.3.3. Posouzení nosníku MSP

Průhyb od stálého zatížení

$$g_k = g_{1,k} + g_{2,k} + g_{3,k} = 1,71 + 1 + 0,236 = 2,946 \text{ kN/m}$$

$$f_g = \frac{5}{385} \cdot \frac{g_k \cdot L^4}{E \cdot I_y} \quad (5.65)$$

$$f_g = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,946 \cdot 6000^4}{210000 \cdot 798,9 \cdot 10^6} = 0,296 \text{ mm}$$

Průhyb od pohyblivého zatížení

$$Q_{r,k} = 169 \text{ kN}$$

$$\xi_1 = \frac{z_1}{L} = \frac{1,26}{6} = 0,21$$

$$\xi_2 = \frac{z_2}{L} = \frac{2,47}{6} = 0,412$$

$$\xi_3 = \frac{z_3}{L} = \frac{0,49}{6} = 0,082$$

$$\eta_1 = 0,011833$$

$$\eta_1 = 0,019667$$

$$\eta_3 = 0,006167$$

$$f_{Q_r} = \sum Q_{r,i} \cdot \eta_i \cdot \frac{L^3}{E \cdot I_y} \quad (5.66)$$

$$\begin{aligned} f_{Q_r} &= 86980 \cdot 0,011833 \cdot \frac{6000^3}{210000 \cdot 798,9 \cdot 10^6} + \\ &+ 169000 \cdot 0,019667 \cdot \frac{6000^3}{210000 \cdot 798,9 \cdot 10^6} + 169000 \cdot 0,006167 \cdot \frac{6000^3}{210000 \cdot 798,9 \cdot 10^6} = \\ &= 1,325 + 2,39 + 1,34 = 5,055 \text{ mm} \end{aligned}$$

Celkový průhyb

$$f_{celk} = 0,296 + 5,055 = 5,351 \text{ mm} < 10 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

6. Požární odolnost konstrukce

Posuzovaná ocelová konstrukce haly přístavby musí vyhovět na požární odolnost R15. Posudek je proveden v programu Dlubal RFEM. Pruty jsou posuzovány na mimořádnou kombinaci zatížení při požáru. Všechny navržené prvky vyhoví na požární odolnost R15. Tiskový protokol s posouzením všech prutů je uveden v příloze č. 1 Tiskové protokoly.

7. Posouzení přípojí

7.1. Kotvení sloupů

Všechny sloupy jsou kotveny pomocí kloubových patek. Kloubovou patku tvoří čelní deska, vlepované chemické kotvy a patní zarážka.

7.2. Rámový roh

Rámový roh je v místě napojení příčle se sloupem. Jedná se o šroubovaný spoj, který tvoří čelní deska a výztuhy sloupu v místech pásnic.

Únosnost řad šroubů v tahu se určí dle ČSN EN 1993-1-8 jako nejmenší z hodnot:

a - $F_{t,wc,Rd}$ stěna sloupu v tahu

b - $F_{t,fc,Rd}$ - pásnice sloupu v ohybu

c - $F_{t,ed,Rd}$ - čelní deska v ohybu

d - $F_{t,wb,Rd}$ - stěna příčle v tahu

7.2.1. Obecný postup

7.2.1.1. Pásnice sloupu v ohybu, čelní deska v ohybu

Návrhová únosnost se uvažuje na náhradním T profilu a je dána jedním ze tří způsobů porušení:

1. Plastický mechanismus (4 plastické klouby)

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1} \cdot t^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (7.1)$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} \quad (7.2)$$

2. Plastický mechanismus (porušení šroubů v tahu a 2 plastické klouby)

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1} \cdot t^2 \cdot f_y + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{\gamma_{M0}} \quad (7.3)$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} \quad (7.4)$$

$$n = \min(e_{min}, 1,25 \cdot m)$$

3. Porušení šroubů v tahu

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} \quad (7.5)$$

Do výpočtu je zavedeno konzervativní zjednodušení. Každá řada šroubů působí samostatně. Délka náhradního T-profilu je omezena vzdáleností řad šroubů.

$$L_{eff,1} = L_{eff,2} = L_{eff}$$

7.2.1.2. Stěna sloupu v příčném tahu

Převodní součinitel

Uspořádání styčníků		Zatížení	Hodnota β
		$M_{b1,Ed}$	$\beta \approx 1$
		$M_{b1,Ed} = M_{b2,Ed}$	$\beta = 0^{*)}$
		$M_{b1,Ed}/M_{b2,Ed} > 0$	$\beta \approx 1$
		$M_{b1,Ed}/M_{b2,Ed} < 0$	$\beta \approx 2$
		$M_{b1,Ed} + M_{b2,Ed} = 0$	$\beta \approx 2$

*) V tomto případě odpovídá hodnota β přesnému řešení.

Obr. 7.1 – Převodní součinitel β

Pro jednostranný styčník: $\beta = 1$

Redukční součinitel interakce se smykem

$$\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{b_{eef,t,wc} \cdot t_{wc}}{A_{vc}} \right)}} \quad (7.6)$$

Návrhová únosnost nevyztužené stěny v příčném tahu

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega \cdot b_{eef,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wv}}{\gamma_{M0}} \quad (7.7)$$

7.2.1.3. Stojina příče v tahu

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eef,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb}}{\gamma_{M0}} \quad (7.8)$$

7.2.2. Výpočet únosnosti

7.2.2.1. 1. řada šroubů

7.2.2.1.1. Nevyztužená pásnice sloupu v příčném ohybu

Tab. 7.1 – Účinná délka náhradního T profilu

$2 \cdot \pi \cdot m_{c1} =$	263,27	mm
$2 \cdot m_{c1} + 0,625 \cdot e_c + e_1 =$	240,30	mm
$\pi \cdot m_{c1} + 2 \cdot e_1 =$	319,63	mm
$4 \cdot m_{c1} + 1,25 \cdot e_c =$	292,60	mm
$\pi m_{c1} + 0,5 \cdot d_2 =$	156,63	mm
$2 \cdot m_{c1} + 0,625 \cdot e_c + 0,5 \cdot d_2 =$	171,30	mm
$e_1 + 0,5 \cdot d_2 =$	119,00	mm
minimální =	119,00	mm

Únosnost jednoho šroubu v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 393 \cdot 800}{1,25} = 203,3 \text{ kN} \quad (7.9)$$

Způsob porušení 1

$$\text{dle (7.1)} \quad M_{pl,1,Rd,r1,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,t,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = 4369531,25 \text{ Nmm}$$

$$\text{dle (7.2)} \quad F_{T,1,Rd,fc} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r1,c}}{m_{c1}} = 417,14 \text{ kN}$$

Způsob porušení 2

$$\text{dle (7.3)} \quad M_{pl,2,Rd,r1,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,t,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = 4369531,25 \text{ Nmm}$$

$$n_{p,c} = \min(e_{min}, 1,25m_{c1}) = 52,38$$

$$\text{dle (7.4)} \quad F_{T,2,Rd,fc} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r1,c} + n_{p,c} \cdot \sum F_{t,Rd}}{m_{c1} + n_{p,c}} = 318,62 \text{ kN}$$

Způsob porušení 3

$$\text{dle (7.5)} \quad F_{T,3,Rd,fc} = \sum F_{t,Rd} = 406,66 \text{ kN}$$

Únosnost nevyztužené pásnice sloupu

$$F_{t,Rd,1} = \min(F_{T,1,Rd,fc}, F_{T,2,Rd,fc}, F_{T,3,Rd,fc}) = 318,62 \text{ kN}$$

7.2.2.1.2. Čelní deska v příčném ohybu

Tab. 7.2 – Účinná délka náhradního T profilu

$2 \cdot \pi \cdot mp1 =$	373,69	mm
$\alpha_{r,2,b} \cdot mp1 =$	333,05 7293	mm
$\lambda_{1,r2,b} = mp1 / (mp1 + ep) =$	0,543	
$\lambda_{2,r2,b} = mp2 / (mp1 + ep) =$	0,770	
$\alpha_{r,2} =$	5,6	
$\pi \cdot mp1 + 0,5 \cdot p =$	236,84	mm
$0,5 \cdot p + \alpha_{r,2,b} \cdot mp1 -$ $(2 \cdot mp1 + 0,625 \cdot ep) =$	232,86	mm
minimální =	232,86	mm

Způsob porušení 1

$$\text{dle (7.1)} \quad M_{pl,1,Rd,r1,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,t,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = 5472169,1 \text{ Nmm}$$

$$\text{dle (7.2)} \quad F_{T,1,Rd,fc} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r1,c}}{m_{c1}} = 368,01 \text{ kN}$$

Způsob porušení 2

$$\text{dle (7.3)} \quad M_{pl,2,Rd,r1,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,t,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = 5472169,1 \text{ Nmm}$$

$$n_{p,c} = \min(e_{min}, 1,25m_{c1}) = 74,34$$

$$\text{dle (7.4)} \quad F_{T,2,Rd,fc} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r1,c} + n_{p,c} \cdot \sum F_{t,Rd}}{m_{c1} + n_{p,c}} = 194,75 \text{ kN}$$

Způsob porušení 3

$$\text{dle (7.5)} \quad F_{T,3,Rd,fc} = \sum F_{t,Rd} = 406,66 \text{ kN}$$

Únosnost čelní desky:

$$F_{t,Rd,1} = \min(F_{T,1,Rd,fc}, F_{T,2,Rd,fc}, F_{T,3,Rd,fc}) = 194,75 \text{ kN}$$

7.2.2.1.3. Stěna sloupu v příčném tahu

Převodní součinitel pro jednostranný styčník

$$\beta = 1$$

Smyková plocha sloupu HEA 600

$$A_{vc} = 9321 \text{ mm}^2$$

Účinná výška stěny sloupu v tahu

$$b_{eff} = L_{eff} = 119 \text{ mm}$$

Redukční součinitel interakce se smykem

$$\text{dle (7.6)} \quad \omega_{r1,c} = \omega_1 = 0,983$$

Návrhová únosnost nevyztužené stěny v příčném tahu

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega_{r1,c} \cdot b_{eff} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = 357,21 \text{ kN} \quad (7.10)$$

7.2.2.1.4. Únosnost 1. řady šroubů

$$F_{t,Rd,1} = \min(F_t, Rd, fc; FT, Rd, ep; F_{t,wc,Rd}) = 194,75 \text{ kN}$$

Rozhoduje únosnost čelní deska v příčném ohybu.

7.2.2.2. 2. řada šroubů

Tab. 7.3 – Únosnost 2. řady šroubů

Nevyztužená pásnice sloupu v příčném ohybu		
Způsob porušení 1		
Mpl,1,Rd,r2,c=	2753906,25	Nmm
FT1,Rd,fc=	262,90	kN
Tpůsob porušení 2		
Mpl,2,Rd,r2,c=	11015625,25	Nmm
FT2,Rd,fc=	459,61	kN
Způsob porušení 3		
FT,3,Rd,fc=	406,66	kN
minimální	262,90	kN
Čelní deska v příčném ohybu		
Způsob porušení 1		
Mpl,1,Rd,r2,b=	2350000	Nmm
FT1,Rd,ep=	158,05	kN
Tpůsob porušení 2		
Mpl,2,Rd,r2,b=	2350000	Nmm
FT2,Rd,ep=	148,08	kN
Způsob porušení 3		
FT,3,Rd,r2,ep=	406,66	kN
minimální	148,08	kN
Stěna sloupu v příčném tahu		
Ft,wb,Rd,2=	227,51	kN
Minimální	148,08	kN

7.2.2.3. 3. řada šroubů

Tab. 7.4 – Únosnost 3. řady šroubů

Nevyztužená pásnice sloupu v příčném ohybu		
Způsob porušení 1		
Mpl,1,Rd,r3,c=	3671875	Nmm
FT1,Rd,fc=	350,54	kN
Tpůsob porušení 2		
Mpl,2,Rd,r3,c=	3671875,00	Nmm
FT2,Rd,fc=	303,82	kN
Způsob porušení 3		
FT,3,Rd,fc=	406,66	kN
minimální	303,82	kN
Čelní deska v příčném ohybu		
Způsob porušení 1		
Mpl,1,Rd,r3,b=	2350000,00	Nmm
FT1,Rd,ep=	158,05	kN
Tpůsob porušení 2		
Mpl,2,Rd,r3,b=	2350000,00	Nmm
FT2,Rd,ep=	148,08	kN
Způsob porušení 3		
FT,3,Rd,r3,ep=	406,66	kN
minimální	148,08	kN
Stěna sloupu v příčném tahu		
Ft,wb,Rd,3=	301,71	kN
Minimální	148,08	kN

7.2.2.4. 4. řada šroubů

Tab. 7.5 – Únosnost 4. řady šroubů

Nevyztužená pásnice sloupu v příčném ohybu		
Způsob porušení 1		
Mpl,1,Rd,r4,c=	3671875	Nmm
FT1,Rd,fc=	350,5369928	kN
Tpůsob porušení 2		
Mpl,2,Rd,r4,c=	3671875	Nmm
FT2,Rd,fc=	303,8171095	kN
Způsob porušení 3		
FT,3,Rd,fc=	406,656	kN
minimální	303,8171095	kN
Čelní deska v příčném ohybu		
Způsob porušení 1		
Mpl,1,Rd,r4,b=	2350000	Nmm
FT1,Rd,ep=	158,0508853	kN
Tpůsob porušení 2		
Mpl,2,Rd,r4,b=	2350000	Nmm
FT2,Rd,ep=	148,082419	kN
Způsob porušení 3		
FT,3,Rd,r4,ep=	406,656	kN
minimální	148,082419	kN
Stěna sloupu v příčném tahu		
Ft,wb,Rd,2=	301,7090892	kN
Minimální	148,082419	kN

7.2.2.5. 5. řada šroubů

Tab. 7.6 – Únosnost 5. řady šroubů

Nevyztužená pásnice sloupu v příčném ohybu		
Způsob porušení 1		
Mpl,1,Rd,r5,c=	6669326,885	Nmm
FT1,Rd,fc=	636,6899174	kN
Tpůsob porušení 2		
Mpl,2,Rd,r5,c=	6669326,885	Nmm
FT2,Rd,fc=	367,4066483	kN
Způsob porušení 3		
FT,3,Rd,fc=	406,656	kN
minimální	367,4066483	kN
Čelní deska v příčném ohybu		
Způsob porušení 1		
Mpl,1,Rd,r5,b=	4264052,28	Nmm
FT1,Rd,ep=	286,7818033	kN
Tpůsob porušení 2		
Mpl,2,Rd,r5,b=	4264052,28	Nmm
FT2,Rd,ep=	176,6892896	kN
Způsob porušení 3		
FT,3,Rd,r5,ep=	406,656	kN
minimální	176,6892896	kN
Stěna sloupu v příčném tahu		
Ft,wb,Rd,5=	533,0967285	kN
Minimální	176,6892896	kN

7.2.2.6. Únosnost v tlačené oblasti

7.2.2.6.1. Stěna sloupu v příčném tlaku

Únosnost nevyztužené stěny sloupu v příčném tlaku je velmi malá a snížila by únosnost styčnicku, je navržena příčná výztuha v tlačené oblasti sloupu.

Výztuha musí přenést zatížení rovné součtu tahových sil ve šroubech. Posouzení je provedeno dle ČSN EN 1993-1-5.

Výztuha je navržena ve velikosti:

$$b_s = 70 \text{ mm}$$

$$t_s = 12 \text{ mm}$$

Průřezové charakteristiky výztuhy

$$l_s = 15 \cdot t_w = 15 \cdot 13 = 195 \text{ mm}$$

$$A_s = 2 \cdot b_s \cdot t_s + (l_s \cdot t_w) \cdot t_w = 2 \cdot 70 \cdot 12 + (195 \cdot 13) \cdot 13 = 4370 \text{ mm}^2$$

$$I_{st} = \frac{1}{12} \cdot t_s \cdot (2 \cdot b_s + t_w)^3 + \frac{1}{12} \cdot l_s \cdot t_w^3 = 3,62 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\text{dle } i_{st} = \sqrt{\frac{I_{st}}{A_s}} = 28,77 \text{ mm}$$

Posouzení tuhosti výztuhy

$$\frac{a}{h_w} = \frac{550}{600 - 25 - 25} = 1 < \sqrt{2} \rightarrow I_{st} \leq 1,5 \cdot h_w^3 \cdot t_w^3 / a^2 = 1,813 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$3,62 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 > 1,83 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení únosnosti výztuhy

$$L_{cr} = 0,75 \cdot h_w = 0,75 \cdot 550 = 412,5 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_{st}} = \frac{412,5}{28,77} = 14,3 \leq 20 \Rightarrow \kappa = 1,0$$

$$\text{dle (5.9) } N_{b,Rd} = \frac{\kappa \cdot A_{st} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 4370 \cdot 235}{1,0} / 1000 = 1027,2 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq \sum F_{t,Rd}$$

$$1027,2 \text{ kN} > 874 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

7.2.2.6.2. Pásnice a stojina příčle v tlaku

Návrhová momentová únosnost průřezu nosníku

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3512000 \cdot 235}{1,0} = 825,32 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \quad (7.11)$$

Návrhový únosnost pásnice a stojiny nosníku v tlaku

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h_b - t_{fb}} = \frac{825,32 \cdot 10^6}{600 - 12} / 1000 = 1403,6 \text{ kN} \quad (7.12)$$

7.2.2.6.3. Výsledná únosnost tlačené oblasti

Výsledná únosnost v tlačené oblasti je minimální hodnota z $F_{c,wc,Rd}$, $F_{c,fb,Rd}$.

$$F_{c,Rd} = 1027,2 \text{ kN}$$

7.2.2.7. Panel stěny sloupu ve smyku

Ověření štíhlosti stěny sloupu

$$\frac{d_c}{t_{wc}} = \frac{524}{13} = 40,3 \leq 69\varepsilon = 69$$

⇒ Panel stěny sloupu ve smyku neboulí ⇒ Únosnost stanovíme:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{y,wc} \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{Mo}} \quad (7.13)$$

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot 235 \cdot 9321}{\sqrt{3} \cdot 1,0} / 1000 = 1138,12 \text{ kN}$$

7.2.2.8. Návrhová momentová únosnost styčnicku

Návrhová momentová únosnost spoje se vypočítá jako suma sil ve šroubech na příslušných ramenech (vzdálenosti řady šrouby ke středu tlaku).

Kontrola potřeby redukce účinné návrhové únosnosti v tahu F_t, Rd

$$\sum F_{t,Rd} \leq \frac{V_{wp}}{\beta}$$

$$815,68 \text{ kN} > \frac{1138,12}{1} = 1138,12 \text{ kN}$$

$$\sum F_{t,Rd} \leq \min(F_{c,Rd}; F_{c,fb,Rd})$$

$$815,68 \text{ kN} > 1027,2 \text{ kN}$$

⇒ Účinnou návrhovou únosnost v tahu není potřeba redukovat.

Ověření, zda nedojde ke křehkému porušení řady šroubů

$$F_{t1,Rd} = 194,75 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 203,3 = 386,27 \text{ kN}$$

$$F_{t2,Rd} = 148,08 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 203,3 = 386,27 \text{ kN}$$

$$F_{t3,Rd} = 148,08 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 203,3 = 386,27 \text{ kN}$$

$$F_{t4,Rd} = 148,08 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 203,3 = 386,27 \text{ kN}$$

$$F_{t5,Rd} = 176,69 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 203,3 = 386,27 \text{ kN}$$

⇒Můžeme počítat s plastickým rozdělením sil.

Návrhová momentová únosnost styčnicku

$$M_{j,Rd} = F_{t1,Rd} \cdot r_1 + F_{t2,Rd} \cdot r_2 + F_{t3,Rd} \cdot r_3 + F_{t4,Rd} \cdot r_4 + F_{t5,Rd} \cdot r_5 \quad (7.14)$$

$$M_{j,Rd} = 195,75 \cdot 1072 + 148,08 \cdot 972 + 148,08 \cdot 872 + 148,08 \cdot 772 + 176,69 \cdot 672$$

$$M_{j,Rd} = 714,89 \text{ kNm}$$

Posouzení momentové únosnosti styčnicku

$$M_{j,Rd} \geq M_{Ed}$$

$$714,89 \text{ kNm} > 366,19 \text{ kNm} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

7.2.2.9. Návrhová smyková únosnost styčnicku

Posouvající sílu bude přenášet šestá řada šroubů.

Únosnost dvou šroubů ve stříhu

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad (7.15)$$

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 353}{1,25} / 1000 = 271,1 \text{ kN}$$

Únosnost dvou šroubů v otláčení

Únosnost v otláčení se určí pro menší tloušťku, tj. pro čelní desku.

Tab. 7.7 – Určení součinitele α

$f_{ub}/f_{up}=$	2,22
$p1/3d0-0,25=$	1,03
	1
$\alpha=\min$	1,00

Tab. 7.8 – Určení součinitele k_1

$2,8 \cdot e^2/d0-1,7$	9,07
$1,4 \cdot p2/d0-1,7$	25,22
	2,5
$k1=\min$	2,50

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad (7.16)$$

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot \frac{2,5 \cdot 1 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 20}{1,25} / 1000 = 691,2 \text{ kN}$$

Posouzení smykové únosnosti styčnicku

$$F_{b,Rd} \geq V_{Ed}$$

$$691,2 \text{ kN} > 158 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

7.2.2.10. Rotační tuhost styčnicku

7.2.2.10.1. 1. řada šroubů

Nevyztužená stěna sloupu v tahu

$$k_3 = \frac{0,7 b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc}}{d_c} = \frac{0,7 \cdot 119 \cdot 13}{524} = 2,067 \text{ mm} \quad (7.17)$$

Pásnice sloupu v ohybu

$$k_4 = \frac{0,9 \cdot I_{eff,c} \cdot t_{fc}^3}{m_{c1}^3} = \frac{0,9 \cdot 119 \cdot 25^3}{41,9^3} = 22,749 \text{ mm} \quad (7.18)$$

Čelní deska v ohybu

$$k_5 = \frac{0,9 \cdot L_{eff,b} \cdot t_p^3}{m_{p1}^3} = \frac{0,9 \cdot 119 \cdot 25^3}{59,47^3} = 4,073 \text{ mm} \quad (7.19)$$

Šrouby v tahu

$$k_{10} = \frac{1,6 \cdot A_s}{L_b} = \frac{1,6 \cdot 353}{65} = 9,413 \text{ mm} \quad (7.20)$$

Účinný součinitel tuhosti první řady šroubů

$$k_{eff,1} = \frac{1}{\frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4} + \frac{1}{k_5} + \frac{1}{k_{10}}} \quad (7.21)$$

$$k_{eff,1} = \frac{1}{\frac{1}{2,067} + \frac{1}{22,749} + \frac{1}{7,955} + \frac{1}{8,689}} = 1,137 \text{ mm}$$

7.2.2.10.2. 2. řada šroubů

Tab. 7.9 – Tuhosti komponentů ve druhé řadě šroubů

k3=	2,067
k4=	22,749
k5=	4,073
k10=	9,413
keef=	1,137

7.2.2.10.3. 3. řada šroubů

Tab. 7.10 – Tuhosti komponentů ve třetí řadě šroubů

k3=	2,067
k4=	22,749
k5=	4,073
k10=	9,413
keef=	1,137

7.2.2.10.4. 4. řada šroubů

Tab. 7.11 – Tuhosti komponentů ve čtvrté řadě šroubů

k3=	2,067
k4=	22,749
k5=	4,073
k10=	9,413
keef=	1,137

7.2.2.10.5. 5. řada šroubů

Tab. 7.12 – Tuhosti komponentů v páté řadě šroubů

k3=	6,661
k4=	22,749
k5=	4,073
k10=	9,413
keef=	1,832

7.2.2.10.6. Všechny řady šroubů

Tab. 7.13 – Vzdálenosti jednotlivých řad šroubů od středu otáčení spoje

h1=	1072	mm
h2=	972	mm
h3=	872	mm
h4=	772	mm
h5=	672	mm

Náhradní rameno vnitřních sil

$$z_{eq} = \frac{\sum k_{eef} \cdot h^2}{\sum k_{eef} \cdot h} \quad (7.22)$$

$$z_{eq} = \frac{1,137 \cdot 1072^2 + 1,137 \cdot 972^2 + 1,137 \cdot 872^2 + 1,137 \cdot 772^2 + 1,832 \cdot 672^2}{1,137 \cdot 1072 + 1,137 \cdot 972 + 1,137 \cdot 872 + 1,137 \cdot 772 + 1,832 \cdot 672} = 723,623 \text{ mm}$$

Náhradní součinitel tuhosti

$$k_{eq} = \frac{\sum k_{eff} \cdot h}{z_{eq}} \quad (7.23)$$

$$k_{eq} = \frac{1,137 \cdot 1072 + 1,137 \cdot 972 + 1,137 \cdot 872 + 1,137 \cdot 772 + 1,832 \cdot 672}{723,623} = 7,495 \text{ mm}$$

7.2.2.10.7. Stěna sloupu v tlaku

Pro vyztuženou stěnu

$$k_2 = \infty$$

7.2.2.10.8. Panel stěny sloupu ve smyku

Převodní součinitel pro jednostranný styčník

$$\beta = 1,0$$

Součinitel tuhosti

$$k_1 = \frac{0,38 \cdot A_{vc}}{\beta \cdot z_{eq}} = \frac{0,38 \cdot 9321}{1 \cdot 723,623} = 4,895 \text{ mm} \quad (7.24)$$

7.2.2.10.9. Počáteční tuhost styčníku

$$S_{j,ini} = \frac{E \cdot z_{eq}^2}{\sum \frac{1}{k}} \quad (7.25)$$

$$S_{j,ini} = \frac{210000 \cdot 723,623^2}{\frac{1}{5,976} + \frac{1}{\infty} + \frac{1}{8,524}} = 325,6 \cdot 10^9 \text{ Nmm/rad}$$

$$L_{b,min} = \frac{k_b \cdot E \cdot I_b}{S_{j,ini}} \quad (7.26)$$

$$L_{b,min} = \frac{8 \cdot 210000 \cdot 920,8 \cdot 10^6}{325,6 \cdot 10^9} = 4750,94 \text{ mm} = 4,75 \text{ m}$$

7.3. Rámové spojení ve vrcholu rámu

Spoj se nachází v hřebeni a spojuje vzájemně dvě příčle. Jedná se o šroubovaný spoj s čelními deskami. Spoj je namáhán stejně jako přípoj příčle na sloup. Postup výpočtu je tedy zkrácený. Uvedeny budou pouze výsledky.

7.3.1. Únosnost řad šroubů

Tab. 7.14 – Únosnosti jednotlivých řad šroubů

1.řada	$F_{t1,Rd} =$	240,75	kN
2.řada	$F_{t2,Rd} =$	167,84	kN
3.řada	$F_{t3,Rd} =$	167,84	kN
suma	$F_{t,Rd} =$	576,43	kN

7.3.2. Únosnost v tlačené oblasti

Návrhová momentová únosnost průřezu nosníku

$$\text{dle (7.11)} \quad M_{c,Rd} = \frac{3512000 \cdot 235}{1,0} = 825,32 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Návrhová únosnost pásnice a stojiny nosníku v tlaku

$$\text{dle (7.12)} \quad F_{c,fb,Rd} = \frac{825,32 \cdot 10^6}{600 - 12} / 1000 = 1403,6 \text{ kN}$$

7.3.3. Panel stěny příčle ve smyku

Ověření štíhlosti stěny příčle

$$\frac{d_c}{t_{wc}} = \frac{538}{12} = 44,83 \leq 69\varepsilon = 69$$

⇒ Panel stěny příčle ve smyku neboulí ⇒ Únosnost stanovíme:

$$\text{dle (7.13)} \quad V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot 235 \cdot 8378}{\sqrt{3} \cdot 1,0} / 1000 = 1023,03 \text{ kN}$$

7.3.4. Návrhová momentová únosnost styčnicku

Kontrola potřeby redukce účinné návrhové únosnosti v tahu F_t, Rd

$$\sum F_{t,Rd} \leq \frac{V_{wp}}{\beta}$$

$$576,43 \text{ kN} > \frac{1023,03}{1,0} = 1023,03 \text{ kN}$$

$$\sum F_{t,Rd} \leq F_{c,fb,Rd}$$

$$576,43 \text{ kN} < 1403,6 \text{ kN}$$

⇒ Účinnou návrhovou únosnost v tahu není potřeba redukovat.

Ověření, zda nedojde ke křehkému porušení řady šroubů

$$F_{t1,Rd} = 240,75 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 203,3 = 386,27 \text{ kN}$$

$$F_{t2,Rd} = 167,84 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 203,3 = 386,27 \text{ kN}$$

$$F_{t3,Rd} = 167,84 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 203,3 = 386,27 \text{ kN}$$

⇒ Můžeme počítat s plastickým rozdělením sil.

Návrhová momentová únosnost styčnicku

$$\text{dle (7.14)} \quad M_{j,Rd} = 240,75 \cdot 522 + 167,84 \cdot 422 + 167,84 \cdot 322$$

$$M_{j,Rd} = 250,54 \text{ kNm}$$

Posouzení momentové únosnosti styčnicku

$$M_{j,Rd} \geq M_{Ed}$$

$$250,54 \text{ kNm} > 233 \text{ kNm} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

7.3.5. Návrhová smyková únosnost styčnicku

Posouvající sílu bude přenášet čtvrtá řada šroubů.

Únosnost dvou šroubů ve střihu

$$\text{dle (7.15)} \quad F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 353}{1,25} / 1000 = 271,1 \text{ kN}$$

Únosnost dvou šroubů v otláčení

Únosnost v otláčení se určí pro menší tloušťku, tj. pro čelní desku.

Tab. 7.15 – Určení součinitele α

$f_{ub}/f_{up} =$	2,22
$p1/3d0 - 0,25 =$	1,03
	1
$\alpha = \min$	1,00

Tab. 7.16 – Určení součinitele k_1

$2,8 \cdot e^2/d0 - 1,7$	9,07
$1,4 \cdot p2/d0 - 1,7$	9,07
	2,5
$k1 = \min$	2,50

$$\text{dle (7.16)} \quad F_{b,Rd} = 2 \cdot \frac{2,5 \cdot 1 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 25}{1,25} / 1000 = 864,0 \text{ kN}$$

Posouzení smykové únosnosti styčnicku

$$F_{b,Rd} \geq V_{Ed}$$

$$864,0 \text{ kN} > 41,2 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

7.4. Připojení ztužidla

Veškerá ztužidla jsou navržena z trubek různých velikostí a tlouštěk stěn. Připojení ztužidel je navrženo kloubovým spojem. Na trubku bude přivařena styčnicková deska, která bude šroubově připojena ke předem přivařené styčnickové desce na stěně nosníku IPE nebo HEB. Spoj je namáhán ve střihu a v otláčení.

7.4.1. Únosnost svaru na sloup HEA600

Průřezové charakteristiky svaru $a = 4 \text{ mm}$, $l = 160 \text{ mm}$

$$A_w = n \cdot l \cdot a = 2 \cdot 160 \cdot 4 = 1280 \text{ mm}^2 \quad (7.27)$$

$$I_w = n \cdot a_w \cdot L_w^3 / 12 = 2,73 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \quad (7.28)$$

$$z_w = \frac{L_w}{2} = \frac{160}{2} = 80 \text{ mm} \quad (7.29)$$

Napětí

Normálové napětí kolmé na účinnou plochu

$$\sigma_w = F^{II} \cdot e = 128,16 \text{ MPa} \quad (7.30)$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{128,16}{\sqrt{2}} = 90,63 \text{ MPa} \quad (7.31)$$

Smykové napětí rovnoběžné s délkou svaru

$$\tau^{II} = \frac{F^{II}}{A_w} = 32,04 \text{ MPa} \quad (7.32)$$

Smykové napětí kolmé na podélnou osu svaru

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 90,63 \text{ MPa}$$

Celkové napětí ve svaru

$$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau^{II^2} + \tau_{\perp}^2))} = 189,56 \text{ MPa} \quad (7.33)$$

Únosnost svaru

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \quad (7.34)$$

Posouzení únosnosti svaru

$$360 \text{ MPa} > 189,56 \text{ MPa}$$

7.4.2. Únosnost svaru na trubku

Průřezové charakteristiky svaru

$$\text{dle (7.27)} \quad A_w = 4 \cdot 160 \cdot 4 = 2560 \text{ mm}^2$$

$$\text{dle (7.28)} \quad I_w = 5,46 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\text{dle (7.29)} \quad z_w = \frac{160}{2} = 80 \text{ mm}$$

Napětí

Normálové napětí kolmé na účinnou plochu

$$\text{dle (7.30)} \sigma_w = 219,63 \text{ MPa}$$

$$\text{dle (7.31)} \sigma_{\perp} = \frac{219,63}{\sqrt{2}} = 155,37 \text{ MPa}$$

Smykové napětí rovnoběžné s délkou svaru

$$\text{dle (7.32)} \tau^{II} = 22,66 \text{ MPa}$$

Smykové napětí kolmé na podélnou osu svaru

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 155,37 \text{ MPa}$$

Celkové napětí ve svaru

$$\text{dle (7.33)} \sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau^{II^2} + \tau_{\perp}^2))} = 313,21 \text{ MPa}$$

Únosnost svaru

$$\text{dle (7.34)} \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

Posouzení únosnosti svaru

$$360 \text{ MPa} > 313,21 \text{ MPa}$$

7.4.3. Únosnost šroubů

Únosnost šroubu ve střihu

$$\text{dle (7.15)} F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 353}{1,25} = 70,6 \text{ kN}$$

Únosnost v otlačení

Tab. 7.17 – Určení součinitele k_1

$k_1 = \min$	$2,8 \cdot e_2 / d_0 - 1,7 =$	5,99
	2,5	2,5
$k_1 =$	2,50	

$$\alpha_b = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{80}{3 \cdot 26} = 1,03$$

$$\text{dle (7.16)} F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,03 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 10}{1,25} = 177,98 \text{ kN}$$

Pro jednostržný spoj s jednou řadou šroubů platí:

$$F_{b,Rd} \leq \frac{1,5 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{1,5 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 10}{1,25} = 106,23 \text{ kN} \Rightarrow F_{b,Rd} = 106,23 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti šroubů spoje

$$F_{v,Rd} \geq N_{Ed}$$

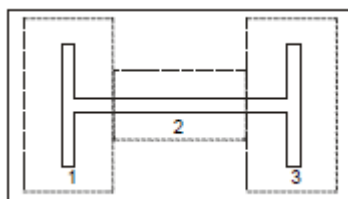
$$70,6 \text{ kN} > 58 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

$$F_{b,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$106,23 \text{ kN} > 58 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

7.5. Kloubová patka

Pro centricky namáhané patky osovou tlakovou silou se návrhová únosnost $N_{j,r}$ vypočítá jako součet návrhových únosností $F_{C,Rd}$ tří T profilů, které se vzájemně nepřekrývají.



- 1 T profil 1
- 2 T profil 2
- 3 T profil 3

Obr. 7.2 – Převodní součinitel β [11]

Rozměry

Tab. 7.18 – Rozměry patky a plechu

	patka	plech
šířka (mm)	1000	600
délka (mm)	1400	900
tloušťka (mm)	250	15

Materiálové charakteristiky

Tab. 7.19 – Materiálové charakteristiky oceli a betonu

Ocel	S235
Beton	C16/20

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{850 \cdot 1150}{600 \cdot 900}} = 1,35 \quad (7.35)$$

Návrhová pevnost styčníku v uložení

$$f_j = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_M} = \frac{0,67 \cdot 1,35 \cdot 16}{1,5} = 9,6 \text{ MPa} \quad (7.36)$$

Přesah c

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_j \cdot \gamma_{M0}}} \quad (7.37)$$

$$c = 15 \cdot \sqrt{\frac{235}{2 \cdot 235 \cdot 1,0}} = 42,8 \text{ mm}$$

Plocha T profilu

$$A_{eff} = 131122 \text{ mm}^2$$

Návrhová únosnost T profilu

$$F_{c,Rd} = f_j \cdot A_{eff} = 9,6 \cdot 131122/1000 = 1261 \text{ MPa} \quad (7.38)$$

Posouzení únosnosti

$$F_{c,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$1261 \text{ MPa} > 660 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

8 Závěr

V rámci diplomové práce byl proveden statický výpočet prutů nosné konstrukce původní haly ve Fryčovicích a nově budované přístavby. V první části byl proveden krátký popis řešeného problému. Ve druhé části byly blíže popsány konstrukční systému hal a umístění mostových jeřábů. Ve třetí části jsou uvedeny technické podklady jeřábů, které jsou umístěny v halách. Ve čtvrté části je určeno zatížení a vypočítány jeho hodnoty, které jsou využity ve výpočetním modelu. V páté části byly posouzeny vybrané pruty z přístavby haly a jeřábová dráha v přístavbě. Všechny navržené pruty nosné konstrukce a jeřábové dráhy vyhoví na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti.

Součástí této diplomové práce je také výkresová dokumentace, která se nachází v přílohách. Byl vypracován půdorys, řezy a pohledy přístavby haly a půdorys a řez prodloužení původní haly, detail přípoje. Dále byl vypracován výkaz prvků.

Vypracování diplomové práce bylo pro autorku velkým přínosem, protože si prohloubila zkušenosti s modelováním výpočetních modelů v programu Dlubal RFEM a Dlubal Craneway a také si prohloubila teoretické a praktické zkušenosti s navrhováním ocelových konstrukcí halových objektů a především jeřábových drah.

9 Seznam použitých pramenů

9.1 Literatura

[1] Marek, P. a kol.: Kovové konstrukce pozemních staveb. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1985.

9.2 Internetové zdroje

[2] *Online přehled nabídky profilů* [online]. Dostupné z <https://online.ferona.cz/>

[3] *Učební pomůcka pro navrhování spojů ocelových konstrukcí zaměřená na šroubované a svarové spoje s příklady dle normy ČSN EN 1993-1-8* [online] Ing. Václav Roder. Dostupné z <http://ocel.wz.cz/>

[4] *Detaily ocelových konstrukcí* [online] INng. Martin Horáček. Dostupné z <https://detailyok.webnode.cz/>

9.3 Normy

[5] ČSN EN 1990 „Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí“

[6] ČSN EN 1991-1-1 „Eurokód: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení -

Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb“

[7] ČSN EN 1991-1-3 „Eurokód: Zatížení konstrukcí – část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem“

[8] ČSN EN 1991-1-4 „Eurokód: Zatížení konstrukcí – část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem“

[9] ČSN EN 1991-3 „Eurokód: Zatížení konstrukcí – část 3: Zatížení od jeřábů a strojního vybavení“

[10] ČSN EN 1993-1-1 „Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby“

[11] ČSN EN 1993-1-8 „Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – část 1-8: Navrhování styčníků“

10 Seznam obrázků a tabulek

10.1 Seznam obrázků

Obr. 2.1 – Jeřáby v původní hale	17
Obr. 2.2 – Konstrukce přístavby	18
Obr. 2.3 - Geometrie konstrukce HEA 600	18
Obr. 2.4 - Geometrie konstrukce - HEA280	19
Obr. 2.5 - Geometrie konstrukce - RO101,6x4	19
Obr. 2.6 - Geometrie konstrukce - HEA200	19
Obr. 2.7 - Geometrie konstrukce - HEB320	20
Obr. 2.8 - Geometrie konstrukce - IPE140	20
Obr. 2.9 - Geometrie konstrukce - IPE180	20
Obr. 2.10 - Geometrie konstrukce - RO168,3x5	21
Obr. 2.11 - Geometrie konstrukce - RO168,3x8	21
Obr. 2.12 - Geometrie konstrukce - L100x100x8	21
Obr. 3.1 - Specifikace jeřábu nosnosti 20 t	22
Obr. 3.2 - Zatížení jeřábu nosnosti 20 t	22
Obr. 3.3 - Geometrie jeřábu nosnosti 20 t	23
Obr. 3.4 - Specifikace jeřábu nosnosti 10 t	24
Obr. 3.5 - Specifikace jeřábu nosnosti 8 t	24
Obr. 3.6 - Specifikace jeřábu nosnosti 20 t – přístavba	24
Obr. 3.7 - Zatížení jeřábu nosnosti 20 t – přístavba	25
Obr. 3.8 - Geometrie jeřábu nosnosti 20 t – přístavba	26
Obr. 3.9 - Specifikace jeřábu nosnosti 10 t – přístavba	26
Obr. 3.10 - Zatížení jeřábu nosnosti 10 t – přístavba	27

Obr. 3.11 - Geometrie jeřábu nosnosti 10 t – přístavba	27
Obr. 4.1 - Zatížení jeřábu nosnosti 20 t - skupina 1	31
Obr. 4.2 - Zatížení jeřábu nosnosti 20 t - skupina 5	31
Obr. 4.3 - Zatížení jeřábu nosnosti 10 t - skupina 1	33
Obr. 4.4 - Zatížení jeřábu nosnosti 10 t - skupina 5	34
Obr. 4.5 - Zatížení jeřábu nosnosti 8 t /11,45 - skupina 1	35
Obr. 4.6 - Zatížení jeřábu nosnosti 8 t /11,45 - skupina 5	36
Obr. 4.7 - Zatížení jeřábu nosnosti 8 t/16,15 - skupina 1	37
Obr. 4.8 - Zatížení jeřábu nosnosti 8 t/16,15 - skupina 5	38
Obr. 4.9 – Spřažené jeřáby 20+10 t - skupina 1	38
Obr. 4.10 – Spřažené jeřáby 20+10 t - skupina 5	38
Obr. 4.11 – Spřažené jeřáby 10+10 t - skupina 1	39
Obr. 4.12 – Spřažené jeřáby 10+10 t - skupina 5	39
Obr. 4.13 - Zatížení jeřábu nosnosti 20 t - přístavba - skupina 1	39
Obr. 4.14 - Zatížení jeřábu nosnosti 20 t - přístavba - skupina 5	40
Obr. 4.15 - Zatížení jeřábu nosnosti 10 t - přístavba - skupina 1	40
Obr. 4.16 - Zatížení jeřábu nosnosti 10 t - přístavba - skupina 5	40
Obr. 4.17 - Zatížení Spřažených jeřábů - přístavba- skupina 1	41
Obr. 4.18 - Zatížení Spřažených jeřábů - přístavba - skupina 5	41
Obr. 4.19 - Sněhová mapa	41
Obr. 4.20 - Tvarové součinitele sklonu střechy	42
Obr. 4.21 – Součinitel typu krajiny	42
Obr. 4.22 - Zatížení sněhem - původní hala - plný sníh	43
Obr. 4.23 - Zatížení sněhem - původní hala - pravý	43
Obr. 4.24 - Zatížení sněhem - původní hala – levý	44

Obr. 4.25 - Zatížení sněhem - nová hala - plný sníh	45
Obr. 4.26 - Zatížení sněhem - původní hala - sníh navátý	45
Obr. 4.27 - Zatížení větrem – mapa	46
Obr. 4.28 - Označení ploch u svislých stěn	48
Obr. 4.29 - Označení ploch pro ploché střechy	48
Obr. 4.30 - Zatížení větrem - původní hala - X-0,2	49
Obr. 4.31 - Zatížení větrem - původní hala - Y+0,3	50
Obr. 4.32 - Zatížení větrem - přístavba hala - X+0,2	51
Obr. 4.33 - Zatížení větrem - přístavba - Y+0,3	52
Obr. 5.1 - Zatížení spřažených jeřábů	66
Obr. 5.2 - Zatížení spřažených jeřábů - postavení Mmax	67
Obr. 5.3 - Zatížení spřažených jeřábů - postavení Amax	68
Obr. 7.1 – Převodní součinitel β	80

10.2 Seznam tabulek

Tab. 4.1 – Technické podklady jeřábů	29
Tab. 4.2 – Dynamické součinitele φ	29
Tab. 4.3 – Zatížení od jeřábů	30
Tab. 4.4 – Zatížení větrem pro $C_{pi} = +0,2$	49
Tab. 4.5 – Zatížení větrem pro $C_{pi} = -0,3$	50
Tab. 4.6 – Zatížení větrem na přístavbu pro $C_{pi} = +0,2$	51
Tab. 4.7 – Zatížení větrem na přístavbu pro $C_{pi} = -0,3$	52
Tab. 5.1 – Materiálové charakteristiky sloupu HEA 600	53
Tab. 5.2 – Průřezové charakteristiky sloupu HEA 600	53
Tab. 5.3 – Součinitelé spolehlivosti sloupu	54

Tab. 5.4 – Vzpěrné délky sloupu	54
Tab. 5.5 – Součinitelé imperfekce a křivky vzpěrné pevnosti sloupu	54
Tab. 5.6 – Posouzení vzpěrné únosnosti sloupu	55
Tab. 5.7 – Posouzení smykové únosnosti sloupu	55
Tab. 5.8 – Charakteristiky pro výpočet kritického momentu sloupu	56
Tab. 5.9 – Posouzení únosnosti sloupu při klopení	57
Tab. 5.10 – Materiálové charakteristiky střešního vazníku IPE 600	57
Tab. 5.11 – Průřezové charakteristiky střešního vazníku IPE 600	58
Tab. 5.12 – Součinitelé spolehlivosti pro vazník	58
Tab. 5.13 – Vzpěrné délky vazníku	58
Tab. 5.14 – Součinitelé imperfekce a křivky vzpěrné pevnosti vazníku	59
Tab. 5.15 – Posouzení vzpěrné únosnosti vazníku	59
Tab. 5.16 – Posouzení smykové únosnosti vazníku	59
Tab. 5.17 – Charakteristiky pro výpočet kritického momentu vazníku	60
Tab. 5.18 – Posouzení únosnosti vazníku při klopení	61
Tab. 5.19 – Materiálové charakteristiky zavětrování	61
Tab. 5.20 – Průřezové charakteristiky zavětrování	61
Tab. 5.21 – Součinitelé spolehlivosti zavětrování	61
Tab. 5.22 – Vzpěrné délky zavětrování	62
Tab. 5.23 – Součinitelé imperfekce a křivky vzpěrné pevnosti zavětrování	62
Tab. 5.24 – Posouzení vzpěrné únosnosti zavětrování	62
Tab. 5.25 – Průřezové charakteristiky nosníku	63
Tab. 5.26 – Technické podklady jeřábů v přístavbě	64
Tab. 5.27 – Dynamické součinitele jeřábů v přístavbě	64
Tab. 5.28 – Zatížení od jeřábu v přístavbě	65

Tab. 5.29 – Zatížení od spřažených jeřábů v přístavbě	65
Tab. 7.1 – Účinná délka náhradního T profilu	81
Tab. 7.2 – Účinná délka náhradního T profilu	82
Tab. 7.3 – Únosnost 2. řady šroubů	84
Tab. 7.4 – Únosnost 3. řady šroubů	85
Tab. 7.5 – Únosnost 4. řady šroubů	86
Tab. 7.6 – Únosnost 5. řady šroubů	87
Tab. 7.7 – Určení součinitele α	91
Tab. 7.8 – Určení součinitele k_1	91
Tab. 7.9 – Tuhosti komponentů ve druhé řadě šroubů	92
Tab. 7.10 – Tuhosti komponentů ve třetí řadě šroubů	92
Tab. 7.11 – Tuhosti komponentů ve čtvrté řadě šroubů	93
Tab. 7.12 – Tuhosti komponentů v páté řadě šroubů	93
Tab. 7.13 – Vzdálenosti jednotlivých řad šroubů od středu otáčení spoje	93
Tab. 7.14 – Únosnosti jednotlivých řad šroubů	95
Tab. 7.15 – Určení součinitele α	97
Tab. 7.16 – Určení součinitele k_1	97
Tab. 7.17 – Určení součinitele k_1	99
Tab. 7.18 – Rozměry patky a plechu	100
Tab. 7.19 – Materiálové charakteristiky oceli a betonu	100

11 Použitý programový software

Dlubal RFEM	Výpočetní software pro statické výpočty (verze 17.1)
Dlubal Craneway	Výpočetní software pro statické výpočty jeřábových drah
AutoCAD 18	Grafický software pro tvorbu modelu a detailů
MS Excel 365	Tabulkový procesor
MS Word 365	Textový editor

12 Seznam příloh

Příloha č. 1 Tiskové protokoly

Příloha č. 2 Technická zpráva

Výkres č.1: Půdorys - přístavba 850x297

Výkres č.2: Řezy - přístavba 420x297

Výkres č.3: Pohledy podélné - přístavba 850x420

Výkres č.4: Pohledy příčné - přístavba 420x297

Výkres č.5: Detail rámového rohu 420x297

Výkres č.6: Detail vrcholu vaznic 420x297